

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

LUIS CARLOS RATUCHNE

**BIOMASSA E CARBONO: EQUAÇÕES E DINÂMICA EM
FRAGMENTOS DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA NO
PARANÁ**

CURITIBA

2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

LUIS CARLOS RATUCHNE

**BIOMASSA E CARBONO: EQUAÇÕES E DINÂMICA EM
FRAGMENTOS DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA NO
PARANÁ**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Manejo Florestal, do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Henrique Soares
Koehler

Co-Orientadores: Prof. Dr. Luciano Farinha
Watzlawick e Prof. Dr.
Carlos Roberto Sanquetta

CURITIBA

2015

Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira - UFPR
Ficha catalográfica elaborada por Denis Uezu – CRB 1720/PR

Ratuchne, Luis Carlos

Biomassa e carbono: equações e dinâmica em fragmentos de floresta
ombrófila mista no Paraná / Luis Carlos Ratuchne. – 2015
102 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Henrique Soares Koehler

Coorientador: Prof. Dr. Luciano Farinha Watzlawick

Prof. Dr. Carlos Roberto Sanquetta

Tese (doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências
Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa:
Curitiba, 23/02/2015.

Área de concentração: Manejo Florestal

1. Biomassa vegetal. 2. Carbono. 3. Florestas – Paraná. 4. Teses. I. Koehler,
Henrique Soares. II. Watzlawick, Luciano Farinha. III. Sanquetta, Carlos Roberto.
IV. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. V. Título.


CDD – 634.9

CDU – 634.0.548

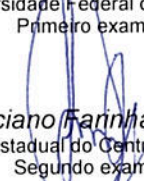
PARECER

Defesa nº. 1092


A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após arguir o(a) doutorando(a) *Luis Carlos Ratuchne* em relação ao seu trabalho de tese intitulado "**BIOMASSA E CARBONO: EQUAÇÕES E DINÂMICA EM FRAGMENTOS DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA NO PARANÁ**", é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** do(a) acadêmico(a), habilitando-o(a) ao título de *Doutor* em Engenharia Florestal, área de concentração em MANEJO FLORESTAL.




Dr. Rafael Balbinot
Universidade Federal de Santa Maria
Primeiro examinador



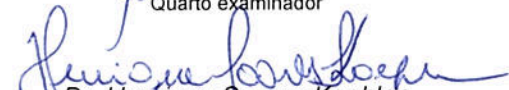
Dr. Luciano Farinha Watzlawick
Universidade Estadual do Centro Oeste - UNICENTRO
Segundo examinador



Dr. Sonia Maria Kurchaidt
Universidade Estadual do Centro-Oeste - Unicentro
Terceiro examinador



Dr. Pyramon Accioly
Pontifícia Universidade Católica do Paraná
Quarto examinador



Dr. Henrique Soares Koehler
Universidade Federal do Paraná
Orientador e presidente da banca examinadora



Curitiba, 23 de fevereiro de 2015.



Antonio Carlos Batista
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

AGRADECIMENTOS

A Deus, por mais esta conquista e por estar sempre ao meu lado me iluminando, protegendo e indicando os melhores caminhos para seguir.

A Priscila, minha companheira de todas as horas, pelo apoio incondicional, compreensão e incentivos nas horas mais difíceis.

A minha família, pelo apoio, incentivo e compreensão pela ausência em muitos momentos.

Ao meu orientador e acima de tudo amigo, Prof. Dr. Henrique Soares Koehler, que desde o início acreditou em mim e conduziu para o desenvolvimento desta pesquisa.

Ao Prof. Dr. Luciano Farinha Watzlawick, amigo, companheiro de longa data, além de meu co-orientador, o mais entusiasmado e que acreditou no meu potencial e me defendeu desde o início.

Aos meus chefes e amigos, Prof. Dr. Juliano Tadeu Vilela de Resende e Profa. Dra. Sonia Maria Kurchaidt, pelo apoio e compreensão nos momentos de ausência nas atribuições.

Aos meus colegas de trabalho, em especial o Cristhiano Camargo Kopanski, Franciane Aparecida Siqueira Santos, Suellen de Fátima Egiert e Elaine Pittner, que assumiram minhas atribuições nos momentos que desenvolvi as atividades do doutorado.

Aos professores do curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, que me acolheram e acreditaram, mesmo não sendo da área das ciências agrárias, e não duvidaram da minha capacidade em momento algum.

Ao meu co-orientador Prof. Dr. Carlos Roberto Sanquetta, que contribuiu muito com conhecimento e experiência para a realização deste trabalho.

A todos que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho, em especial aos estagiários e orientados do Prof. Farinha, que se dispuseram a auxiliar nos trabalhos de campo.

A UNICENTRO, por proporcionar a possibilidade de cursar o doutorado.

A UFPR, pelo curso de qualidade.

Muito obrigado!

RESUMO

Os remanescentes da Floresta Ombrófila Mista no estado do Paraná cobrem cerca de 1,87 milhões de ha, representando uma vasta extensão de fragmentos florestais que precisam ser preservados. Uma das formas de valorizar esses fragmentos florestais, buscando a sua preservação, é demonstrando a capacidade que eles apresentam de estocagem e sequestro de carbono na biomassa florestal. Neste sentido, este trabalho teve como objetivo principal quantificar o estoque e a dinâmica da biomassa e do carbono em fragmentos de Floresta Ombrófila Mista no estado do Paraná. O trabalho foi realizado com dados de parcelas permanentes instaladas nos municípios de Boa Ventura de São Roque, Castro, Coronel Vivida e Reserva do Iguaçu, todos no estado do Paraná. As áreas estão distribuídas geograficamente buscando representar a região de abrangência da Floresta Ombrófila Mista paranaense. As amostragens de biomassa e carbono foram realizadas no ano de 2009 e os inventários florestais realizados nos anos de 2007 e 2012. Foram ajustadas equações hipsométricas para as áreas em estudo, afim de compor a base de dados. Para os compartimentos fuste, casca, galhos, folhagem e para a parte aérea total da árvore, foram ajustadas equações de regressão para a estimativa da biomassa e do carbono, sendo que as melhores equações foram validadas com dados de uma base testemunha, obtida de parcelas permanentes instaladas no município de General Carneiro, estado do Paraná, em uma área de Floresta Ombrófila Mista. Utilizando as melhores equações ajustadas, foram estimados os estoques de biomassa e carbono das áreas em estudo nos anos de 2007 e 2012, para avaliação da dinâmica dos fragmentos florestais. Os resultados revelaram que das 117 espécies arbóreas observadas nas áreas do estudo, apenas 7 foram comuns às quatro unidades amostrais estudadas. Nas equações hipsométricas, ajustadas para as quatro áreas simultaneamente, foi observado equações com baixo coeficiente de determinação e alto erro padrão da estimativa, denotando que as equações ajustadas podem apresentar elevado nível de erro nas estimativas. Para as equações de biomassa e carbono, foram observados bons resultados nos ajustes para a árvore total e para o fuste. Nos ajustes para a casca, os resultados foram medianos, enquanto para os galhos e folhas, as equações ajustadas apresentaram a menor exatidão nas estimativas. Tanto para a biomassa quanto para o carbono, não foram observados melhores ajustes nas equações formadas pelas variáveis independentes *dap* e altura total, quando comparadas às formadas apenas pelo *dap*. A validação das equações, utilizando a base de dados testemunha, mostrou que as equações para a biomassa e o carbono apresentaram bons resultados nas estimativas para a árvore total, para o fuste e para os galhos, indicando que em áreas similares às utilizadas no trabalho, as equações podem ser aplicadas. Foram observados incrementos de biomassa, carbono e de área basal em todas as parcelas permanentes estudadas no período de 2007 a 2012, indicando que os fragmentos estão apresentando crescimento e com alta capacidade de fixação de carbono. Os resultados mostram a importância dos fragmentos de Floresta Ombrófila Mista no Paraná para a fixação do carbono da atmosfera, importante serviço ambiental prestado pelas florestas.

Palavras chave: Equações de regressão, relação hipsométrica, Floresta com Araucária, estoque de carbono.

ABSTRACT

The remnants of Mixed Rainy Forest in Paraná cover about 1.87 million ha, representing a vast expanse of forest fragments that need to be preserved. One way to value these forest fragments, seeking its preservation, is demonstrate the ability that they have storage and carbon sequestration in forest biomass. Thus, this work aimed to quantify the stock and the dynamics of biomass and carbon in Mixed Rainy Forest fragments in Paraná. The work was developed using data permanent plots installed in the cities of Boa Ventura de São Roque, Castro, Coronel Vivida and Reserva do Iguaçu, all in Paraná state. The areas are geographically distributed seeking to represent the region of coverage of Mixed Rainy Forest in Paraná. The samples of biomass and carbon were conducted in 2009 and the forest inventories in 2007 and 2012. Were adjusted hypsometric equations for the areas under study, in order to compose the database. For the trunk, bark, branches, leaves and the total the tree, regression equations were fitted to estimate the biomass and carbon, and the best equations were validated with data from a control base, obtained of plots permanent located in the municipality of General Carneiro, state of Paraná, in an area of Mixed Rainy Forest. Using the best adjusted equations, the stock of biomass and carbon of the areas were estimated in the years 2007 and 2012 to assess the dynamics of the forest fragments. The results revealed that of the 117 tree species observed in the areas of study, only 7 were common to the four studied units. For the hypsometric equations, adjusted for the four areas simultaneously, was observed equations with low coefficient of determination and high standard error of the estimate, indicating that the adjusted equations can present high level of error in the estimates. For the equations of biomass and carbon, were observed good results in adjustments for the total tree and trunk. In the adjusting for the bark, the results were median, while for the branches and leaves, the adjusted equations showed the lowest accuracy in estimates. Both for biomass and carbon, were not observed best settings in equations formed by the independent variables *dap* and total height, compared to only formed by *dap*. In the validation of the equations, using the control data, showed that the equations for biomass and carbon showed good results in the estimates for the total tree, trunk and for the branches, indicating that the equations can be applied in similar areas to those used in work. An increase was observed biomass, carbon and basal area in all permanent plots studied from 2007 to 2012, indicating that the fragments are showing growth and high carbon fixation capacity. The results show the importance of Mixed Rainy Forest fragments in Paraná for fixing carbon from the atmosphere, important environmental service provided by forests.

Key words: Regression equations, hypsometric relation, Araucaria Forest, carbon storage.

SUMÁRIO

	LISTA DE FIGURAS	9
	LISTA DE TABELAS	11
	LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	13
1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVO GERAL.....	16
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	A FLORESTA OMBRÓFILA MISTA	18
2.2	BIOMASSA E CARBONO FLORESTAL.....	20
2.3	QUANTIFICAÇÃO DA BIOMASSA E DO CARBONO FLORESTAL.....	21
2.4	MODELOS DE REGRESSÃO APLICADOS À BIOMASSA E AO CARBONO FLORESTAL.....	24
2.5	DINÂMICA E SUCESSÃO FLORESTAL	27
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	31
3.1	LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DO ESTUDO.....	31
3.2	DESCRIÇÃO DAS UNIDADES AMOSTRAIS	34
3.3	AMOSTRAGEM DA BIOMASSA E DO CARBONO FLORESTAL.....	34
3.4	INVENTÁRIOS DAS PARCELAS PERMANENTES.....	35
3.5	AJUSTE DE EQUAÇÕES HIPSOMÉTRICAS	36
3.6	AJUSTE DE EQUAÇÕES PARA ESTIMATIVA DA BIOMASSA E DO CARBONO FLORESTAL.....	37
3.7	VALIDAÇÃO DAS EQUAÇÕES DE BIOMASSA E CARBONO	38
3.8	DINÂMICA DO ESTOQUE DE BIOMASSA E CARBONO FLORESTAL	39
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
4.1	CARACTERIZAÇÃO DAS BASES DE DADOS.....	41
4.1.1	Parcelas Permanentes	41
4.1.2	Biomassa e Carbono	46
4.2	AJUSTE DE EQUAÇÕES HIPSOMÉTRICAS	48
4.3	AJUSTE DE EQUAÇÕES PARA ESTIMATIVA DA BIOMASSA E DO CARBONO FLORESTAL.....	52
4.3.1	Biomassa e Carbono Aéreo Total.....	52
4.3.2	Biomassa e Carbono do Fuste	58

4.3.3	Biomassa e Carbono da Casca	63
4.3.4	Biomassa e Carbono dos Galhos	67
4.3.5	Biomassa e Carbono da Folhagem	71
4.4	VALIDAÇÃO DAS EQUAÇÕES DE BIOMASSA E CARBONO	76
4.5	DINÂMICA DO ESTOQUE DE BIOMASSA E CARBONO FLORESTAL	83
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	90
6	REFERÊNCIAS	92

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	DISTRIBUIÇÃO DAS UNIDADES FITOGEOGRÁFICAS MAIS REPRESENTATIVAS DO ESTADO DO PARANÁ.....	19
FIGURA 2	LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DAS ÁREAS DO ESTUDO	31
FIGURA 3	DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS DAS MELHORES EQUAÇÕES HIPNOMÉTRICAS AJUSTADAS	51
FIGURA 4	DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS DAS MELHORES EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA A ESTIMATIVA DA BIOMASSA AÉREA TOTAL	54
FIGURA 5	DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS DAS MELHORES EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA A ESTIMATIVA DO CARBONO TOTAL	57
FIGURA 6	DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS DAS MELHORES EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA A ESTIMATIVA DA BIOMASSA DO FUSTE.....	60
FIGURA 7	DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS DAS MELHORES EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA A ESTIMATIVA DO CARBONO FUSTE	62
FIGURA 8	DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS DAS MELHORES EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA A ESTIMATIVA DA BIOMASSA DA CASCA.....	64
FIGURA 9	DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS DAS MELHORES EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA A ESTIMATIVA DO CARBONO DA CASCA.....	66
FIGURA 10	DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS DAS MELHORES EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA A ESTIMATIVA DA BIOMASSA DOS GALHOS	68
FIGURA 11	DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS DAS MELHORES EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA A ESTIMATIVA DO CARBONO DOS GALHOS	70
FIGURA 12	DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS DAS MELHORES EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA ESTIMATIVA DA BIOMASSA DA FOLHAGEM.....	73
FIGURA 13	DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS DAS MELHORES EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA A ESTIMATIVA DO CARBONO DA FOLHAGEM.....	75

FIGURA 14	DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS DA VALIDAÇÃO DAS EQUAÇÕES PARA A BIOMASSA E O CARBONO AÉREO TOTAL	79
FIGURA 15	DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS DA VALIDAÇÃO DAS EQUAÇÕES PARA A BIOMASSA E O CARBONO DO FUSTE	79
FIGURA 16	DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS DA VALIDAÇÃO DAS EQUAÇÕES PARA A BIOMASSA E O CARBONO DA CASCA	81
FIGURA 17	DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS DA VALIDAÇÃO DAS EQUAÇÕES PARA A BIOMASSA E O CARBONO DOS GALHOS.....	81
FIGURA 18	DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS DA VALIDAÇÃO DAS EQUAÇÕES PARA A BIOMASSA E O CARBONO DA FOLHAGEM.....	82
FIGURA 19	ESTOQUES DE BIOMASSA E CARBONO AÉREO DAS ÁREAS EM ESTUDO NOS ANOS DE 2007 E 2012	85

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	MODELOS MATEMÁTICOS UTILIZADOS NO AJUSTE DE EQUAÇÕES HIPSOMÉTRICAS	36
TABELA 2	MODELOS MATEMÁTICOS UTILIZADOS NO AJUSTE DE EQUAÇÕES DE BIOMASSA E CARBONO	38
TABELA 3	ESPÉCIES FLORESTAIS ENCONTRADAS NAS ÁREAS DO ESTUDO	42
TABELA 4	ÁREA BASAL E NÚMERO DE ESPÉCIES E DAP OBSERVADOS NAS ÁREAS EM ESTUDO NO ANO DE 2007	46
TABELA 5	ESTATÍSTICAS DA BASE DE DADOS DE BIOMASSA E CARBONO	47
TABELA 6	TEORES E PROPORÇÕES DO CARBONO NOS DIVERSOS COMPARTIMENTOS ARBÓREOS	47
TABELA 7	ESTATÍSTICAS OBTIDAS PARA AS EQUAÇÕES HIPSOMÉTRICAS AJUSTADAS PARA ESTIMATIVA DA ALTURA TOTAL	49
TABELA 8	ESTATÍSTICAS OBTIDAS NAS MELHORES EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA ESTIMATIVA DA BIOMASSA TOTAL.....	53
TABELA 9	ESTATÍSTICAS OBTIDAS PARA AS MELHORES EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA A ESTIMATIVA DO CARBONO TOTAL ACIMA DO SOLO	55
TABELA 10	ESTATÍSTICAS OBTIDAS PARA AS MELHORES EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA ESTIMATIVA DA BIOMASSA DO FUSTE	58
TABELA 11	ESTATÍSTICAS OBTIDAS PARA AS MELHORES EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA A ESTIMATIVA DO CARBONO DO FUSTE ..	61
TABELA 12	ESTATÍSTICAS OBTIDAS PARA AS MELHORES EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA ESTIMATIVA DA BIOMASSA DA CASCA.....	63
TABELA 13	ESTATÍSTICAS OBTIDAS PARA AS MELHORES EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA ESTIMATIVA DO CARBONO DA CASCA	65
TABELA 14	ESTATÍSTICAS OBTIDAS PARA AS MELHORES EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA ESTIMATIVA DA BIOMASSA DOS GALHOS.....	67
TABELA 15	ESTATÍSTICAS OBTIDAS PARA AS MELHORES EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA ESTIMATIVA DO CARBONO DOS GALHOS	69

TABELA 16	ESTATÍSTICAS OBTIDAS PARA AS MELHORES EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA ESTIMATIVA DA BIOMASSA DA FOLHAGEM.....	71
TABELA 17	ESTATÍSTICAS OBTIDAS PARA AS MELHORES EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA ESTIMATIVA DO CARBONO DA FOLHAGEM.....	74
TABELA 18	ESTATÍSTICAS DA BASE DE DADOS DE VALIDAÇÃO.....	76
TABELA 19	EQUAÇÕES DE BIOMASSA E CARBONO SELECIONADAS PARA A VALIDAÇÃO E SUAS ESTATÍSTICAS.....	77
TABELA 20	MORTALIDADE, INGRESSO E SUBTRAÇÃO DE INDIVÍDUOS NAS ÁREAS EM ESTUDO NO PERÍODO DE 2007 A 2012.....	84
TABELA 21	ÁREA BASAL E DENSIDADE ABSOLUTA DAS ÁREAS EM ESTUDO NOS ANOS DE 2007 E 2012.....	84
TABELA 22	INCREMENTO DE BIOMASSA FLORESTAL ACIMA DO SOLO NO PERÍODO DE 5 ANOS (2007 A 2012)	87
TABELA 23	INCREMENTO DE CARBONO FLORESTAL ACIMA DO SOLO NO PERÍODO DE 5 ANOS (2007 A 2012)	87
TABELA 24	CO ₂ EQUIVALENTE SEQUESTRADO PELAS ÁREAS EM ESTUDO NO PERÍODO DE 5 ANOS (2007 A 2012)	88

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

B	Boro
C	Carbono
Ca	Cálcio
Cl	Cloro
cm	Centímetro
CO ₂	Dióxido de carbono
CO _{2eq}	Dióxido de carbono equivalente
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
Cu	Cobre
dap	Diâmetro a altura do peito (1,3 m)
F	Estatística F de Snedecor
Fe	Ferro
h	Altura total
H	Hidrogênio
ha	Hectare
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ind	Indivíduos
K	Potássio
km	Quilômetro
m	Metro
Mg	Magnésio
mi	Milhões
mm	Milímetro
Mn	Manganês
Mo	Molibdênio
N	Nitrogênio
O	Oxigênio
ONG	Organização Não-Governamental
P	Fosforo
R ² _{aj}	Coeficiente de determinação ajustado
S	Enxofre
S _{yx}	Erro padrão da estimativa

t	Toneladas
u	Unidade de massa atômica Dalton
Zn	Zinco

1 INTRODUÇÃO

As florestas armazenam grandes quantidades de carbono, tanto na estrutura da vegetação quanto no solo. Ao desmatar-se uma floresta, a maioria do carbono estocado é emitido para a atmosfera em forma de gás carbônico (CO₂) e outros gases. Dessa forma, o desmatamento e as queimadas emitem grandes quantidades de gases causadores do efeito estufa e interferem de várias formas na dinâmica do clima global.

Cerca de 60% das florestas no mundo concentram-se em apenas sete países, que serão afetados em maior ou menor grau pela mudança do clima. A questão é de particular importância para o Brasil, que tem 61% do seu território coberto por florestas. Além disso, o impacto das mudanças climáticas pode ser agravado por fatores como seca, frio, ataques de inseto, doenças e incêndios (MMA, 2012).

Segundo Silveira (2008), a exploração florestal no Brasil vem ocorrendo desde a chegada dos portugueses, cujo interesse primordial era a exploração do pau-brasil. O processo de desmatamento prosseguiu durante os ciclos da cana-de-açúcar, do ouro, da produção de carvão vegetal, da extração de madeira, da plantação de cafezais e pastagens, da produção de papel e celulose, do estabelecimento de assentamentos de colonos, da construção de rodovias e barragens e de um amplo e intensivo processo de urbanização.

No Paraná, segundo Accioly (2013), 36,72% da cobertura original da Floresta Ombrófila Mista do Estado ainda persiste. Embora muito fragmentados, esses remanescentes florestais, que cobrem uma vasta extensão do Estado, têm a capacidade de fornecer muitos serviços ambientais, destacando-se os relacionados ao ciclo do carbono, ciclo hidrológico, belezas cênicas, proteção do solo, biodiversidade, dentre outros benefícios capazes de sustentar e satisfazer as condições de vida humana (FAO, 2005).

No meio acadêmico, a importância dos fragmentos de Floresta Ombrófila Mista do Paraná é reconhecida, sendo crescente o interesse no desenvolvimento de pesquisas visando conhecer os aspectos que os envolvem, tais como a fitossociologia, o manejo, a regeneração e seus aspectos econômicos. Além destes assuntos, nos últimos anos, vem sendo crescente o interesse dos pesquisadores sobre questões relacionadas a fixação, ciclagem, dinâmica e quantificação da biomassa e do carbono florestal, que são aspectos que podem fornecer informações

importantes para o desenvolvimento de projetos e políticas visando a proteção e a conservação da Floresta Ombrófila Mista no estado do Paraná.

Nos trabalhos com a biomassa e o carbono florestal são necessárias quantificações do estoque disponível na floresta, da capacidade de retirada de carbono da atmosfera, das taxas de incremento desse estoque, dentre outras informações. Para isso, torna-se necessário o desenvolvimento de metodologias que possibilitem essas quantificações.

Os trabalhos com a biomassa e o carbono em florestas naturais são especialmente complexos, pois são muitas as variáveis que interferem no estoque e na produção da biomassa. Tais como o clima, a altitude, o solo, o nível de chuvas, a fitossociologia, o estágio de sucessão, dentre outros, fazendo com que cada fragmento florestal, mesmo que de uma mesma tipologia, apresente características que a tornam, de certa forma, única.

Assim, a generalização e a extrapolação de informações sobre biomassa e carbono em florestas naturais devem ser feitas com a adoção de muitos critérios. Dessa forma, pesquisas que busquem enriquecer o conhecimento sobre a dinâmica da biomassa e do carbono na Floresta Ombrófila Mista, bem como o aprimoramento de metodologias de quantificação existentes, são de fundamental importância.

1.1 OBJETIVO GERAL

O presente estudo teve como objetivo geral quantificar o estoque e a dinâmica da biomassa e do carbono em alguns fragmentos de Floresta Ombrófila Mista no estado do Paraná.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Testar modelos de relação hipsométrica para estimativa da altura total das árvores das áreas em estudo;
- Testar modelos de regressão para estimativa da biomassa e do carbono da árvore individual e de seus compartimentos;
- Avaliar a necessidade da utilização da variável altura total nos modelos de equação de biomassa e carbono;
- Avaliar o comportamento das equações de biomassa e carbono ajustadas para árvores individuais quando aplicadas a um vasto conjunto de dados;
- Indicar equações para estimativa de biomassa e carbono florestal em fragmentos de Floresta Ombrófila Mista no estado do Paraná;
- Estimar os estoques de biomassa e carbono florestal nas áreas do estudo e avaliar a dinâmica desse estoque no período de cinco anos;
- Estimar o estoque de dióxido de carbono fixado pelas áreas do estudo no período de cinco anos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A FLORESTA OMBRÓFILA MISTA

A Floresta Ombrófila Mista, ou Floresta com Araucária, é um tipo de vegetação do Planalto Meridional, onde ocorria com maior frequência. A sua composição florística, caracterizada por gêneros primitivos como *Drymis* e *Araucaria* (Australásicos) e *Podocarpus* (Afro-Asiáticos), sugere, em face da altitude e da latitude do Planalto Meridional, uma ocupação recente, apresentando quatro formações diferentes: aluvial, ao longo dos flúvios; submontana, de 50 a 400 metros a.n.m.; montana, de 400 a 1000 metros a.n.m.; e alto-montana, situadas a mais de 1000 metros a.n.m. (IBGE, 2012).

Na época do descobrimento do Brasil a Floresta com Araucária se estendia numa faixa contínua desde o sul do estado de São Paulo até o norte do Rio Grande do Sul, chegando até a Argentina, além de manchas esparsas nos estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e Espírito Santo (IBGE, 2012). Esta tipologia florestal cobria originalmente cerca de 200.000 km² do território brasileiro, sendo 40% no estado do Paraná, 31% no estado de Santa Catarina, 25% no estado do Rio Grande do Sul, 3% no sul do estado de São Paulo e 1% distribuídos pelo sul dos estados do Rio de Janeiro e Minas Gerais (CARVALHO, 1994).

A Floresta Ombrófila Mista distingue-se dos demais biomas florestais da Região Sul do Brasil pela presença marcante da *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze e se caracteriza pela ocorrência da mistura de diferentes espécies, definindo padrões fitofisionômicos típicos, em uma zona climática caracteristicamente pluvial (IBGE, 2012).

Sendo a araucária uma espécie com madeira de alta qualidade, foi extensivamente explorada para atender à demanda do mercado interno e externo (ANJOS *et al.*, 2004). O processo extrativista e a derrubada da Floresta Ombrófila Mista começaram por volta de 1895, quando o estado do Paraná era coberto por cerca de 167.000 km² desta floresta, com aproximadamente 70.000 km² de floresta natural de araucárias (MAACK, 1981).

A distribuição fitogeográfica da Floresta Ombrófila Mista no estado do Paraná está apresentada na Figura 1.

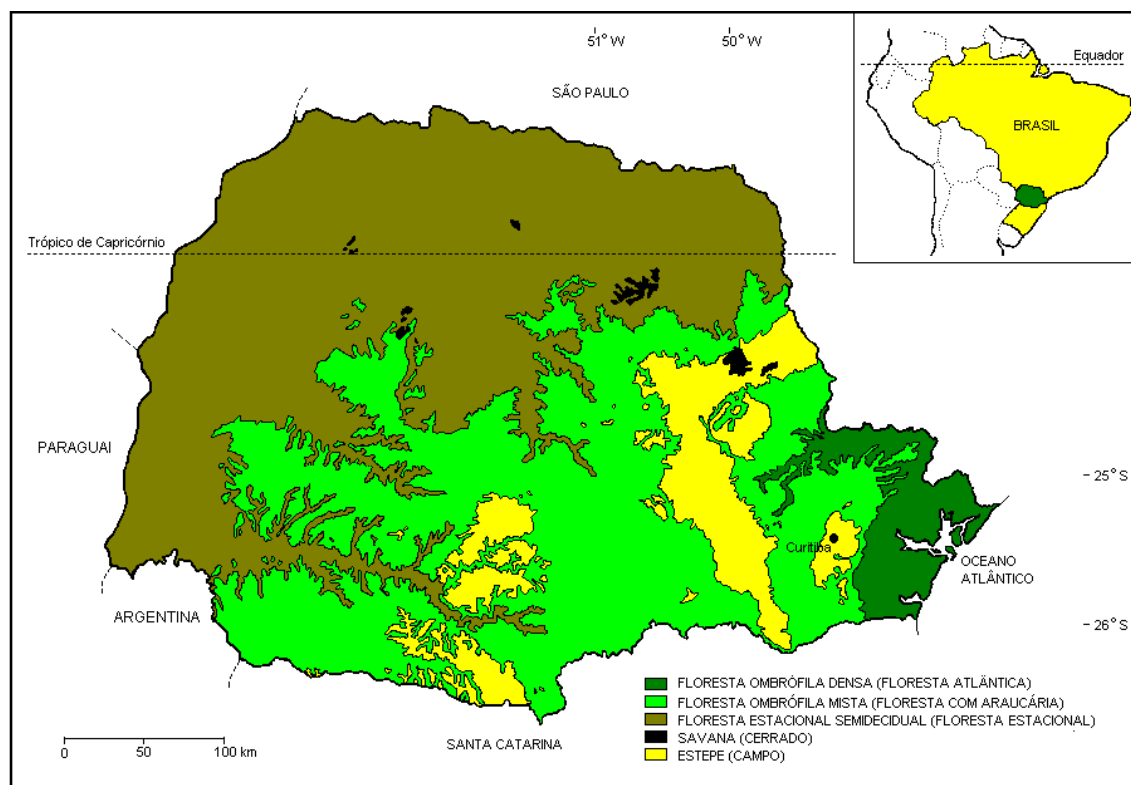


FIGURA 1 DISTRIBUIÇÃO DAS UNIDADES FITOGEGRÁFICAS MAIS REPRESENTATIVAS DO ESTADO DO PARANÁ

FONTE: Roderjan *et al.* (2002)

Sanquetta (2003), estimou os remanescentes da Floresta com Araucária em cerca de 2,7 milhões de hectares do estado do Paraná, sendo, aproximadamente, 13% em bom estado de conservação. Em trabalho mais recente, Accioly (2013) no mapeamento dos remanescentes vegetais arbóreos do estado do Paraná, mapeou 1.866.412,42 ha de Floresta Ombrófila Mista no Estado. Segundo esse autor, o mapeamento considerou como remanescentes todas as áreas de comunidades arbóreas de espécies nativas adensadas. Segundo o trabalho, tais remanescentes correspondem a 36,72% da cobertura original da Floresta Ombrófila Mista do Estado.

Como os remanescentes da Floresta Ombrófila Mista ainda são muito representativos no estado do Paraná e têm sua importância do ponto de vista florestal e ambiental reconhecida, muitos trabalhos com os mais variados objetivos vêm sendo desenvolvidos, dos quais podem-se citar Sanquetta *et al.* (2001), Barth Filho (2002),

Caldeira (2003), Watzlawick (2003), Anjos *et al.* (2004), Rossi (2007), Ratuchne (2010), Mognon *et al.* (2013), dentre muitos outros autores.

2.2 BIOMASSA E CARBONO FLORESTAL

A biomassa é a quantidade expressa em massa do material vegetal disponível em uma floresta (MARTINELLI *et al.*, 1994). Brigadão (1992) refere-se ao termo fitomassa, como sendo o material seco da planta, que combinado com a zoomassa corresponde à biomassa. Sanquetta (2002) considera que o termo biomassa florestal pode significar toda a biomassa existente na floresta ou apenas a fração arbórea da mesma, podendo-se também utilizar o termo fitomassa florestal ou fitomassa arbórea.

A biomassa florestal pode ser expressa por massa verde ou massa seca, sendo que a massa verde refere-se ao material fresco amostrado, contendo uma variável proporção de água. Já a massa seca refere-se à biomassa obtida após secagem do material em estufa (CALDEIRA, 2003).

Segundo Raven *et al.* (2014), a síntese da matéria orgânica realizada pelas plantas no processo da fotossíntese é chamada de produção primária de um ecossistema, e a soma total de matéria orgânica produzida pela fotossíntese é chamada de produção bruta. Ainda segundo esses autores, as plantas consomem parte do produto da fotossíntese no processo da respiração, sendo que o remanescente é incorporado como matéria à planta, denominando-se assim de produção líquida. Os valores de produção bruta e líquida são usualmente expressos como peso seco, sendo frequentemente chamados de produção de matéria seca.

Além dos principais elementos químicos que compõem a estrutura orgânica das plantas, carbono (C), hidrogênio (H) e oxigênio (O), existe uma grande variedade de outros elementos na biomassa, em várias formas químicas, e entre estes, os elementos químicos conhecidos como nutrientes, que são considerados essenciais para a vida. Devido à quantidade necessitada pelas plantas, são divididos em macronutrientes (nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S)) e micronutrientes (ferro (Fe), manganês (Mn), boro (B), cobre (Cu), zinco (Zn), molibdênio (Mo) e cloro (Cl)) (MALAVOLTA, 1980).

Segundo Larcher (2001), as concentrações dos constituintes da matéria seca da biomassa vegetal, formada especialmente por carbono e constituintes minerais, variam com a espécie, fase de desenvolvimento, estado nutricional, condições edafoclimáticas e com a parte do vegetal considerada.

Watzlawick *et al.* (2004) encontraram teores de carbono em espécies florestais da Floresta Ombrófila Mista Montana variando de 34,01% a 47,34%, dependendo da espécie e do componente considerado (fuste, casca, galhos, folhagem, miscelânea e da árvore total). Todos os componentes das árvores que não se enquadram como folhagem, fuste, galhos ou raízes são enquadrados como miscelânea.

2.3 QUANTIFICAÇÃO DA BIOMASSA E DO CARBONO FLORESTAL

As metodologias usadas atualmente para se obterem estimativas de biomassa em áreas florestais são baseadas, principalmente, em dados de inventário florestal, empregando-se fatores e equações de biomassa, que transformam dados de diâmetro, altura ou volume em tais estimativas (SOMOGYI *et al.*, 2007). Segundo Silveira *et al.* (2008), na maioria dos casos, é necessária uma amostragem destrutiva para a estimativa correta de biomassa e, normalmente, a biomassa arbórea é medida a partir de seus componentes. A separação e especificação desses componentes varia de acordo com o tipo de floresta e os objetivos a serem alcançados. Essa variação pode incluir ou excluir alguns componentes específicos, tais como flores e frutos, ou detalhar outros, como raízes e ramos, subdividindo-os em raízes finas e raízes grossas, ramos com idades e espessuras diferentes (CAMPOS, 1991).

Para Higuchi e Carvalho Júnior (1994), os estudos para quantificação de biomassa florestal dividem-se em *métodos diretos* (ou determinação) e *métodos indiretos* (ou estimativas). Para esses autores, determinação significa uma medição real feita diretamente na biomassa, por exemplo, a pesagem de um fuste inteiro por meio de um dinamômetro ou uma balança. Todas as árvores de uma determinada parcela são abatidas e pesadas, sendo feita em seguida a extrapolação da avaliação amostrada para a área total de interesse.

A estimativa de biomassa pelo método indireto consiste em correlacioná-la com alguma variável de fácil obtenção e que não requeira a destruição do material vegetal. As estimativas podem ser feitas por meio de relações quantitativas ou matemáticas, como razões ou equações de regressão para dados provenientes de inventários florestais (dap, altura e volume), por dados de sensoriamento remoto (imagens de satélite) e utilizando-se uma base de dados em um sistema de informação geográfica (GIS) (HIGUCHI e CARVALHO JÚNIOR, 1994).

Sanquetta (2002) ressalta que os métodos diretos implicam em determinações, enquanto os métodos indiretos geram estimativas e Watzlawick (2003), cita que os estudos de quantificação da biomassa florestal são trabalhosos, demorados e muito onerosos, pois envolvem procedimentos a campo, como de corte, separação e pesagem.

Em estudos feitos em pequenas áreas, todas as árvores podem ser derrubadas e pesadas. Em áreas maiores, não sendo possível a pesagem de todas as árvores, equações para estimativa podem ser ajustadas, correlacionando a biomassa com variáveis de fácil medição, como o diâmetro à altura do peito (dap), a área basal, a altura total da árvore ou a altura comercial (MARTINELLI *et al.*, 1994). Watzlawick (2003) quantificou a biomassa utilizando o método destrutivo, onde as árvores foram derrubadas, medidas, pesadas e seus componentes amostrados.

Mello e Gonçalves (2008) ajustaram equações para estimativa da biomassa dos componentes das árvores, a partir de dados coletados com a amostragem destrutiva de 10 árvores em cada sítio florestal, assim como Ratuchne (2010), que ajustou equações de regressão para estimativa da biomassa e do carbono florestal em uma Floresta Ombrófila Mista a partir de dados coletados por meio de amostragem destrutiva de 153 árvores. Segundo Martinelli *et al.* (1994), as equações para estimativa da biomassa florestal devem ser ajustadas e calibradas com dados obtidos por métodos de determinação direta, ou seja, métodos destrutivos.

A quantificação do carbono fixado também está diretamente ligada a questões que envolvem o clima e o manejo florestal, uma vez que as informações obtidas no inventário florestal são as bases de pesquisas relacionadas ao uso dos recursos naturais e nas decisões sobre o uso eficiente da terra. Devido ao potencial de fixação de carbono na biomassa das florestas naturais e ao crescente interesse global por este assunto, faz-se necessário o desenvolvimento de metodologias de quantificação

do conteúdo de carbono fixado na biomassa florestal, facilitando o planejamento, o manejo e a valorização destas tipologias florestais.

A capacidade de fixação de carbono das florestas naturais varia entre biomas. Watzlawick (2003) encontrou, em média, 104 toneladas por hectare de carbono fixado em uma Floresta Ombrófila Mista Montana. Resende *et al.* (2001) em determinações da quantidade de carbono na biomassa acima do solo em uma Floresta de Terra Firme e em uma Floresta Alagável na Floresta Amazônica, encontraram, respectivamente, 72,29 t.ha⁻¹ e 61,61 t.ha⁻¹.

Brun (2004) quantificou os teores de carbono na biomassa acima do solo em duas fases sucessionais da Floresta Estacional Decidual, em Santa Tereza, RS. Para o capoeirão, este autor encontrou um estoque de carbono de 41,81 t.ha⁻¹. Já para a floresta secundária, o estoque de carbono quantificado foi de 65,47 t.ha⁻¹. Pode-se observar que o estoque de carbono na floresta secundária é significativamente superior ao do capoeirão, devido a maior produção de biomassa desse estágio sucessional.

Em uma Floresta Ombrófila Densa, Silveira (2008) estimou o estoque de carbono na biomassa arbórea acima do solo por equações de regressão ajustadas para área em estudo e por fatores de expansão, também conhecido como método da derivação do volume em biomassa e carbono. Nos dois métodos as estimativas do estoque de carbono foram similares, 64,48 t.ha⁻¹ com as equações de regressão e 65,98 t.ha⁻¹ com o método da derivação do volume. O autor apontou que o método dos fatores de expansão apresenta estimativas bastante exatas e tem sido utilizado em estimativas do conteúdo de carbono em florestas do Canadá, dos Estados Unidos da América, da Rússia e da China.

Britez *et al.* (2006) destacaram a existência de poucos estudos avaliando a biomassa e o carbono em ecossistemas tropicais. Mas, com o advento do Protocolo de Quioto em 1997, novas possibilidades de comercialização de créditos de carbono e de compensação das emissões de gás carbônico dos países industrializados podem agregar novos valores às florestas tropicais (YU, 2004).

Silveira (2008) estimou o valor monetário de uma Floresta Ombrófila Densa pela fixação do CO₂. Segundo uma das estimativas do autor, a floresta em estudo valeria US\$ 2.837,16 ha⁻¹, já que teria removido da atmosfera cerca de 236,43 t.ha⁻¹ de CO₂. De acordo com este autor, a dinâmica econômica global relacionada com a

agroindústria torna mais lucrativa a derrubada das florestas, tornando difícil conservar grandes áreas de florestas tropicais.

Mognon (2011) estimou a compensação econômica de uma Floresta Ombrófila Mista de 4.000 ha em um projeto de REDD (Redução das Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal), e estimou uma rentabilidade de R\$ 8.643,00 ao mês apenas pelo desmatamento evitado, conceito dos projetos de REDD. O autor destaca que rentabilidades associadas a projetos de carbono, a serviços ambientais e a produtos florestais não madeireiros, por exemplo, podem agregar retorno econômico aos proprietários das florestas e contribuir para sua preservação.

2.4 MODELOS DE REGRESSÃO APLICADOS À BIOMASSA E AO CARBONO FLORESTAL

Segundo Rossi (2007), um modelo é qualquer representação simplificada de alguns aspectos de um sistema real, podendo tratar da estrutura ou de suas funções. O modelo pode envolver palavras, diagramas, mapas, equações, programas de computadores ou estruturas físicas para representar um sistema. Mas, os modelos não são capazes de fornecer claro entendimento sobre todas as questões que envolvem um sistema biológico e talvez nunca sejam. As equações são igualdades entre sentenças matemáticas e são compostas basicamente por variáveis e coeficientes. Os coeficientes têm seus valores conhecidos, enquanto as variáveis podem assumir qualquer valor.

Muitas relações dendrométricas são estudadas e passíveis de modelagem, tais como as relações entre altura e o diâmetro ou entre o peso, a altura e o diâmetro, e diversos problemas florestais são resolvidos utilizando-se de relações matemáticas, que possibilitam obter estimativas por meio de equações de regressão (SCHNEIDER, 1997). Segundo Finger (1992), o problema se resume em obter a expressão quantitativa de dependência entre uma variável de difícil medição, a variável dependente, e uma ou mais variáveis de fácil obtenção, as variáveis independentes.

Para Silveira *et al.* (2008), uma variedade de modelos de regressão tem sido utilizada na estimativa de biomassa e do carbono florestal. Segundo esses autores, as equações de biomassa e carbono podem ter muitas formas, sendo que as mais

comumente utilizadas são as do tipo linear e não-linear. Os modelos lineares são aqueles cujos coeficientes apresentam-se na forma aditiva ou subtrativa e elevados ao expoente unitário. Os modelos não-lineares apresentam formulações mais complexas, com coeficientes apresentando-se na forma exponencial ou transformações matemáticas (DRAPER e SMITH, 1981). A escolha de uma dessas formas deve ocorrer em função da experiência em sua utilização, da relação entre as variáveis ou pela recomendação da literatura. Basicamente, estes modelos de regressão podem ser escritos na seguinte forma:

Lineares: $Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_i X_j + \varepsilon$

Não-lineares: $Y = \beta_0 + \beta_1 X_1^{\beta_2} + \beta_3 X_2^{\beta_4} + \dots + \beta_{i-1} X_j^{\beta_i} + \varepsilon$

Em que: Y = biomassa ou carbono total ou do componente; X_j = variável independente; β_i = coeficientes do modelo; ε = erro aleatório.

Como variáveis independentes utilizadas nos ajustes dos modelos de regressão, normalmente são utilizadas variáveis dendrométricas, de solo, ambientais, representativas da comunidade florestal, dentre outras.

Segundo Guimarães (2001), o ajuste de um modelo matemático de regressão a um conjunto de dados, obtidos experimentalmente, nada mais é do que encontrar os coeficientes da equação que melhor descreve o comportamento daquele conjunto de dados.

Para os modelos de regressão linear, o ajuste pode ser feito pelo método dos mínimos quadrados, o qual garante que o erro cometido ao substituir os dados reais por dados estimados será mínimo (FINGER, 1992). Mas, para os modelos de regressão não-linear, o ajuste pelo método dos mínimos quadrados não é possível, sendo necessário a utilização de métodos iterativos de resolução. Os métodos iterativos mais utilizados são o método de Gauss-Newton ou método da linearização, o método *Steepest-Descent* ou método do gradiente e o método de Marquardt (BATES e WATTS, 1988).

Para um conjunto de dados podem ser ajustados diversos modelos de regressão e a seleção de uma equação pode ser feita utilizando critérios estatísticos, como o coeficiente de determinação, o erro padrão da estimativa, a distribuição dos resíduos e a estatística F (SCHNEIDER, 1997).

O coeficiente de determinação (R^2) expressa a quantidade de variação total explicada pela regressão. Assim, seleciona-se a equação que apresenta maior R^2 . Já o erro padrão da estimativa (S_{yx}) representa a dispersão entre os valores observados e estimados, sendo desejável que ele tenha o menor valor. A análise gráfica da distribuição dos resíduos entre a variável dependente estimada e observada permite observar possíveis tendências no ajuste ao longo da linha de regressão, sendo os resíduos calculados como a diferença entre a variável dependente observada e a estimada (MACHADO *et al.*, 2008). A estatística F mostra quanto o modelo ajustado representa a relação entre a variável dependente e as variáveis independentes, sendo preferíveis modelos com estatística F elevada (DRAPER e SMITH, 1981; SCHNEIDER, 1997).

Sanquetta *et al.* (2003a) e Resende *et al.* (2006) utilizaram como critério para escolha dos melhores modelos de regressão maior coeficiente de determinação (R^2) na equação ajustada, menor erro padrão da estimativa (S_{yx}), maior estatística F e melhor distribuição gráfica dos resíduos. Silva *et al.* (2004) não utilizaram a estatística F , mas sim o erro padrão da estimativa em percentagem ($S_{yx}\%$).

Segundo Draper e Smith (1981), a variável independente mais importante para compor um modelo de regressão é aquela que apresenta maior coeficiente de correlação simples com a variável dependente. Resende *et al.* (2006) ajustaram equações de regressão para estimar o volume, a biomassa e o estoque de carbono no Cerrado e consideraram, mesmo apresentando erros em torno de 30%, que as equações selecionadas foram satisfatórias, devido a variabilidade natural existente na estrutura da vegetação e na forma dos troncos das espécies lenhosas.

Baggio *et al.* (1995) ajustaram equações de regressão para estimar a biomassa de bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.) em idade de corte e fizeram ressalvas quanto à utilização das equações que ajustaram para a fração galhos, devido ao baixo nível de exatidão. Mello e Gonçalves (2008) utilizaram equações para estimar a biomassa da parte aérea e do sistema radicular em povoamentos de *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden e obtiveram resultados que consideraram satisfatórios, com R^2 igual a 0,99 e S_{yx} igual a 0,6 nas melhores equações, resultados também obtidos por Schumacher e Caldeira (2007), sugerindo que em plantações as estimativas por meio de equações de regressão tendem a ser mais exatas do que em florestas naturais.

2.5 DINÂMICA E SUCESSÃO FLORESTAL

Para que a vegetação de um determinado local alcance uma relativa estabilidade em suas características fisiológicas, estruturais e florísticas, ocorre uma série de mudanças nas comunidades florestais. Este processo é denominado de sucessão vegetal ou dinâmica (ODUM, 1977).

Gomide (1997) cita que um ecossistema em evolução começa por fases pioneiras, que são substituídas por uma série de comunidades de maior maturidade, até que se desenvolva uma comunidade mais estável, em equilíbrio com as condições locais. A série completa das comunidades desenvolvidas numa determinada situação é denominada de sere; as transitórias de fases serais ou comunidades serais e o produto final do processo de sucessão, em que a comunidade atinge um equilíbrio dinâmico com as condições locais, é que se conhece como clímax (KUNIYOSHI, 1989).

Se a sucessão tem início numa área não ocupada anteriormente, por uma comunidade (rocha, areia, etc.), portanto em um substrato desprovido de biota, tanto de origem recente quanto produto de uma catástrofe (inundação, avalanche, derrame de lavas, etc.), o processo toma o nome de sucessão primária ou prisere. Mas quando a sucessão se desenvolve numa área da qual foi eliminada outra comunidade (campo lavrado, floresta abandonada, etc.), onde a biota foi alterada, mas não se encontra totalmente ausente, se diz sucessão secundária ou subsere (KUNIYOSHI, 1989).

Estreitamente relacionada à fisiologia, estrutura e funcionamento da comunidade está a dinâmica, que envolve diversos processos de organização da comunidade, como sucessão, mortalidade, recrutamento, crescimento e regeneração, e relações bióticas entre diferentes populações (competição, simbiose, predação, parasitismo, etc.) (GOMIDE, 1997). Para esse autor, em última instância, os processos de dinâmica são responsáveis tanto pela mudança da comunidade como pela modificação do espaço da comunidade. Tais processos manifestam-se por meio da extinção local de populações, imigração de novas populações para a comunidade, emigração e colonização de novas áreas, flutuações na abundância relativa de populações na comunidade, etc.

Para Barros (1980), o ingresso, crescimento e mortalidade são o resultado final do processo de dinâmica de formações florestais. O contínuo aparecimento de novos indivíduos no estrato inferior da floresta que limita o espaço de crescimento das árvores novas devido ao aumento da densidade, propicia a eliminação de elementos menos capazes de competir. Esse autor explica que as aberturas ocorridas no estrato superior da floresta, em decorrência da morte de grandes árvores, são ocupadas pelas árvores que encontram-se no estrato imediatamente inferior, que por sua vez proporcionam o estabelecimento de novos indivíduos, tornando heterogênea a distribuição de idades das árvores na floresta. Esse processo dinâmico da população é garantido pela composição das espécies, a partir das pioneiras para aquelas que são capazes de reproduzir-se satisfatoriamente à sombra.

O ingresso ou recrutamento refere-se a indivíduos que alcançam um determinado tamanho, por exemplo, uma medida de *dap* pré-especificada (ROSSI, 2007). Ou seja, uma árvore ingressa quando atinge um tamanho mínimo entre duas medições subsequentes e começa a figurar nos levantamentos de inventário florestal. Usualmente, o ingresso é quantificado por meio do número de árvores que alcançam tamanho limite.

Vanclay (1994) diferencia os termos regeneração e ingresso, definindo a regeneração como a renovação de povoamentos florestais por meios naturais ou artificiais, enquanto que o ingresso refere-se aos indivíduos que alcançaram um tamanho especificado. Para Kohyama e Takada (1998), obtém-se taxas de ingresso simplesmente pela contagem de árvores que são menores que um tamanho mínimo em um inventário, mas que entraram neste tamanho em um segundo inventário.

O crescimento de uma floresta é definido pelas mudanças de tamanho ocorridas em um determinado período de tempo. Sabe-se, portanto, que em uma floresta o crescimento é dado pela atividade das árvores vivas, mas sua somatória não reflete o crescimento da floresta como um todo, pelo fato de existirem árvores que morrem, são cortadas ou recrutadas no período de crescimento (SANQUETTA *et al.*, 2003b). O crescimento das árvores é mais convenientemente medido pelo diâmetro ou incremento da circunferência à altura do peito e é de grande interesse da silvicultura e do manejo florestal.

Diferenças na taxa de crescimento de um sítio podem ser correlacionadas com a posição do dossel, pois árvores recebendo mais luz alcançam maior crescimento. Isso implica que árvores na sombra têm maior probabilidade de morrer. Espécies do

sub-bosque, por outro lado, podem passar toda sua vida na sombra, e seu crescimento e mortalidade podem ou não se correlacionar tão claramente com a posição do dossel (GOMIDE, 1997).

Gomide (1997) ressalta que as espécies florestais diferem geneticamente em suas taxas de crescimento. Segundo esse autor, espécies pioneiras mostram a mais rápida taxa de crescimento, pois se elas perderem sua posição dominante no dossel, muitas delas morrerão.

Mortalidade refere-se ao número de árvores que foram mensuradas inicialmente, que não foram cortadas, mas morreram durante o período de crescimento. A mortalidade pode ser causada por diversos fatores como a idade ou senilidade, competição, supressão, doenças ou pragas, condições climáticas, fogos silvestres, anelamento, envenenamento, injúrias, corte ou abate de árvores (SANQUETTA, 1996).

Vanclay (1994) distingue duas categorias de mortalidade natural, a regular e a catastrófica. Segundo esse autor, a mortalidade regular refere-se à morte por senescência, supressão ou competição e inclui também a mortalidade causada por ocorrência normal de doenças, pragas e fenômenos climáticos (secas, ventos e tempestades). A catastrófica inclui a mortalidade por incêndios e grande ocorrência de pragas e doenças. Rossi (2007) ressalta que a taxa de eliminação natural em povoamentos florestais oferece um dos mais complexos problemas da mensuração florestal. Pois, segundo esse autor, a mortalidade é um dos componentes menos compreendidos nas estimativas de dinâmica florestal, principalmente pela complexidade do processo e pela incerteza do tempo de ocorrência da morte.

Dentre os trabalhos desenvolvido com a dinâmica florestal em ecossistemas tropicais, alguns podem ser destacados, tais como o desenvolvido por Higuchi *et al.* (2004), na Amazônia, no qual os autores analisaram a dinâmica de uma floresta primária, no período de 1986 a 2000, e observaram aspectos do recrutamento, mortalidade e crescimento da floresta. Segundo os autores, com o estudo foi possível entender o balanço do carbono na vegetação primária e saber se a floresta, estava funcionando como fonte ou fixadora de carbono.

Weber *et al.* (2005) realizaram um trabalho sobre a dinâmica da floresta em função do volume, biomassa e estoque de carbono na Floresta Ombrófila Mista no estado do Paraná. No estudo, os autores analisaram o crescimento volumétrico de um fragmento de floresta natural, o estoque de biomassa e sua capacidade fixadora de

carbono, no período de 1997 a 2005. Brun (2007), pesquisando a dinâmica do carbono orgânico em espécies arbóreas de uma Floresta Estacional Decidua no Rio Grande do Sul, utilizou dados diretos de acúmulo de biomassa, encontrado em sete espécies arbóreas. Com auxílio de parcelas permanentes, o autor estudou a dinâmica entre os anos de 1996 a 2003.

Silva (2007) estudou a dinâmica da biomassa de florestas primárias e secundárias na região de Manaus (AM), utilizando dados de inventários florestais em equações ajustadas para estimativa de biomassa, aplicando a cadeia de transição probabilística de Markov como projeção da dinâmica da biomassa florestal. Chagas *et al.* (2010), na FLONA Caxiuanã, no estado do Pará, acompanharam a dinâmica de duas parcelas permanentes, realizando inventário florestal no ano de 2005 e 2008. Os autores estimaram a biomassa por meio de equações matemáticas. Martins (2011), estudou a dinâmica de um fragmento de Floresta Ombrófila Mista no município de Boa Ventura de São Roque, estado do Paraná, entre 2007 e 2009. Veres (2012), estudou a dinâmica de um fragmento de Floresta Ombrófila Estacional Semidecidual em São José das Palmeiras, estado do Paraná.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DO ESTUDO

No presente trabalho foram utilizadas quatro unidades amostrais permanentes, implantadas no ano de 2007, como parte do Projeto Mudanças Climáticas e seus Efeitos na Agricultura Familiar, desenvolvido pela Universidade Estadual do Centro-Oeste, UNICENTRO, juntamente com a ONG Fundação Rureco. As áreas experimentais estão implantadas em fragmentos de Floresta Ombrófila Mista com variados níveis de antropização, nos municípios de Castro, Boa Ventura de São Roque, Reserva do Iguaçu e Coronel Vivida, no Estado do Paraná (Figura 2).

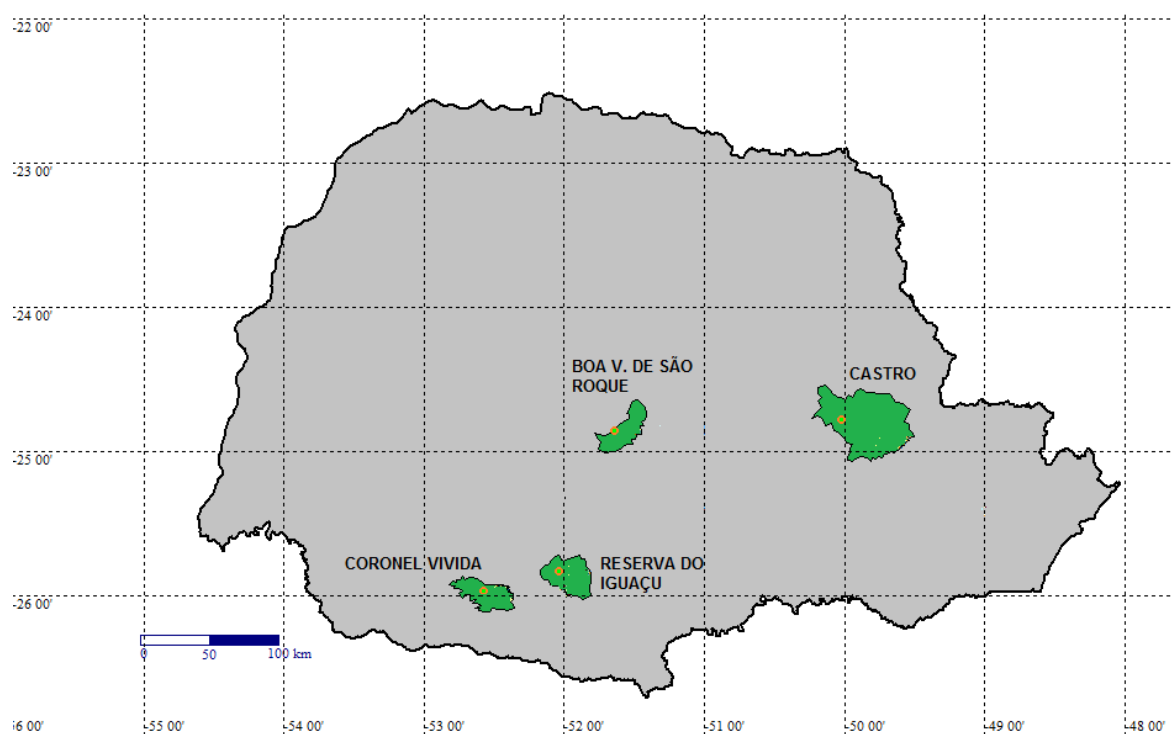


FIGURA 2 LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DAS ÁREAS DO ESTUDO

FONTE: Adaptado de Watzlawick *et al.* (2010)

Os fragmentos florestais, onde estão implantadas as unidades experimentais, possuem áreas inferiores a 5 hectares, com variadas topografias, solos e níveis de antropização, mas todas encontram-se em estágio secundário de sucessão, classificadas conforme a Resolução nº 2-CONAMA/1994 (CONAMA, 1994).

A área experimental localizada no município de Castro está inserida em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista situado no Sítio Pau Brasil, Localidade Campo do Meio, Distrito de Abapan, com altitude aproximada de 1023 m a.n.m.. O município de Castro está localizado na Região Centro-Sul do estado do Paraná, também chamada de Campos Gerais. Geograficamente, Castro encontra-se no Segundo Planalto Paranaense, também conhecido como Planalto Paleozóico, constituído principalmente por rochas sedimentares e metamórficas, destacando-se os arenitos, folhelhos betuminosos e o carvão mineral. Os solos que ocorrem na região são Latossolos, Cambissolos e Neossolos (ITCG, 2008). O clima predominante, segundo a classificação de Köppen e Geiger (1928), é o Subtropical Úmido Mesotérmico (Cfb), com verões amenos, ocorrência de geadas e, ocasionalmente, neve, com temperatura média de 19,9° C no verão e 12,4° C no inverno (MAACK, 1981). A vegetação predominante encontrada é a Floresta Ombrófila Mista Montana (IBGE, 2012).

A área experimental situada no município de Boa Ventura de São Roque encontra-se em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista particular, de propriedade da Sr. Nadina Koaschinak e sua família. A área possui aproximadamente 5 hectares e tem altitude média de 775 m a.n.m.. A declividade do terreno é acentuada, podendo chegar em alguns locais a 45°. O fragmento florestal sofreu grande exploração no passado, quando foram retiradas as espécies florestais de maior valor econômico. Posteriormente ocorreu a exploração com a criação de gado sob a floresta remanescente, mas, segundo a proprietária, nos últimos 15 anos a área não é explorada de nenhuma forma.

O município de Boa Ventura de São Roque situa-se no Terceiro Planalto Paranaense e o clima da região, segundo a classificação de Köppen e Geiger (1928), caracteriza-se como Subtropical Úmido Mesotérmico (Cfb), com verões frescos e ocorrência de geadas severas no inverno, sendo que no inverno a temperatura mínima média é superior a 4° C e a média máxima inferior a 19° C (MAACK, 1981). Segundo a classificação do IBGE (2012), a vegetação característica da região é a Floresta Ombrófila Mista Montana e, conforme verificação *in loco*, a altitude média da área é de 860 m acima do nível do mar. O relevo é de ondulado a fortemente ondulado e, em

alguns pontos, montanhoso ou plano e suave. O material de origem é o basalto, o qual submetido às condições de clima e relevo deu origem ao Latossolo Roxo Distrófico ou Álico, Litólico Álico, Cambissolo Álico, além das inclusões de géis e hidromórficos sem expressão (IAPAR, 1986).

No município de Coronel Vivida, a unidade experimental apresenta uma altitude de aproximadamente 630 m a.n.m., com acentuada declividade, superior a 45° em alguns casos. A área está instalada no sítio Recanto das Cachoeiras, de propriedade do Sr. Olivo Dambros. A formação geológica na região é originária do derrame de Trapp ocorrido no período Triássico/Cretáceo da formação Serra Geral. Os solos predominantes são o Latossolo Roxo, nas áreas mais planas, e terra roxa estruturada associada a solos Litólicos, nas porções mais elevadas dos morros (IAPAR, 1986). O clima é caracterizado por uma precipitação anual média entre 1.800 a 2.000 mm, temperatura mínima média de 14 a 17° C e temperatura máxima média de 25 a 28° C, considerado, pela classificação de Köppene Geiger (1928), como subtropical (Cfa), segundo o IAPAR (1994). A vegetação encontrada é a Floresta Ombrófila Mista Montana, mas também pode ser considerada uma zona ecotonal de transição entre Floresta Ombrófila Mista e Floresta Estacional Semidecidual (IBGE, 2012).

O fragmento de Floresta Ombrófila Mista, onde está instalada a área experimental no município de Reserva de Iguaçu, fica na propriedade do Sr. Gonçalino Pedroso. A área está a uma altitude média de 920 m a.n.m. e fica próxima à Estação Ecológica Rio dos Touros, classificada como área de proteção integral em decorrência de compensações ambientais devido à instalação da usina hidrelétrica Governador Ney Braga. A área experimental foi explorada com a retirada de espécies florestais para produção de palanques e madeiras de construção civil e com a criação de javalis. Mas, segundo o proprietário, a partir de 2005 a área não foi mais explorada. A topografia da área é pouco acidentada, predominando o terreno plano e levemente inclinado.

Segundo o ITCG (2008), a região onde encontra-se o município de Reserva do Iguaçu é constituída de solos do tipo Neossolos, Latossolos e Nitossolos, que são solos de origem magmática. O clima, pelo sistema de classificação de Köppen e Geiger (1928), caracteriza-se como Subtropical Úmido Mesotérmico (Cfb), com precipitação média anual e 1.900 a 2.100 mm e temperatura mínima média de 12 a 14° C e temperatura máxima média de 23 a 25° C IAPAR (1994). A vegetação encontrada na região é a Floresta Ombrófila Mista Montana, podendo também ser

considerada uma zona ecotonal de transição entre Floresta Ombrófila Mista e Floresta Estacional Semidecidual (IBGE, 2012).

3.2 DESCRIÇÃO DAS UNIDADES AMOSTRAIS

As quatro unidades experimentais foram instaladas no ano de 2007, com 0,5 ha cada uma. Cada área experimental foi subdividida em 50 parcelas de 100 m² (10 x 10 m) e o método da amostragem utilizado foi o Área Fixa. Na implantação das unidades, todas as árvores com *dap* maior ou igual a 5 cm foram inventariadas e a identificação taxonômica das espécies arbóreas seguiu o sistema APG III (2009), a qual foi realizada inicialmente a campo, com base nos aspectos dendrológicos das espécies, e após em laboratório, por meio de literatura especializada e consulta a especialistas.

3.3 AMOSTRAGEM DA BIOMASSA E DO CARBONO FLORESTAL

A amostragem para a determinação da biomassa e do teor de carbono florestal foi realizada utilizando o método da árvore individual. Ao todo foram amostradas 131 árvores, sendo 28 na área de Boa Ventura de São Roque, 42 em Castro, 33 em Coronel Vivida e 28 na área de Reserva do Iguaçu.

As árvores derrubadas para a amostragem da biomassa florestal foram separadas em compartimentos, que foram a madeira do fuste, folhagem, galhos vivos, galhos mortos, casca do fuste e miscelânea (frutos, flores, sementes e outras estruturas vegetais), sendo que cada um desses componentes foi devidamente pesado. Ainda foram mensurados dados como a altura total, altura do ponto de inversão morfológica (abertura da copa), *dap* da árvore, circunferência na base e a cada 10% da altura total, onde também foram amostradas a espessura da casca, em dois pontos nestes locais, e coleta de discos de madeira na base, a 50% e a 100% da altura total para determinação do teor de carbono na madeira e na casca.

Todo o material coletado a campo foi pesado em laboratório e secado em estufas com temperatura entre 60° C e 70° C, com circulação de ar forçada, sendo acompanhado o peso até a estabilização. Após essa estabilização, o material seco foi moído em moinho do tipo Wiley (peneira de 20 Mesh), e identificado para posterior análise de teor de carbono pela Metodologia de Tedesco *et al.* (1995), pelo procedimento de Walkey – Black com calor externo, realizado na Universidade Federal de Santa Maria, UFSM, no Rio Grande do Sul.

Para obtenção do peso do carbono de cada compartimento da árvore, foi multiplicado o teor de carbono do compartimento da respectiva árvore pelo peso da biomassa seca do compartimento. Para a obtenção do estoque de carbono florestal acima do solo da árvore individual, foram somados os quantitativos de carbono dos seus componentes, sendo madeira do fuste, folhagem, galhos vivos, galhos mortos, casca do fuste e miscelânea (frutos, flores, sementes e outras estruturas vegetais).

A base de dados de biomassa e carbono, composta por dados de 131 árvores, foi subdividida em base de ajuste, composta por 119 árvores, e base para avaliação de resíduos, composta por 12 árvores. O critério para a seleção das árvores a compor a base de avaliação de resíduos foi a média (m) e o desvio padrão (σ) do dap . Foram selecionadas as árvores da base de dados com dap médio e com dap igual a $(m+0,25*\sigma)$, $(m+0,5*\sigma)$, $(m+\sigma)$, $(m+1,25*\sigma)$, $(m+1,5*\sigma)$, $(m+2*\sigma)$, $(m-0,25*\sigma)$, $(m-0,5*\sigma)$, $(m-\sigma)$, $(m-1,25*\sigma)$, $(m-1,5*\sigma)$. Dessa forma, as árvores selecionadas representaram bem a base de dados.

3.4 INVENTÁRIOS DAS PARCELAS PERMANENTES

Foram utilizadas no trabalho os dados dos inventários das parcelas permanentes realizados nos anos de 2007 e 2012, quando foram medidas todas as árvores com dap maior ou igual a 5 cm. Foram, ainda, computados dados de ingresso e mortalidade das áreas em estudo. Para a caracterização das áreas, foram identificadas as espécies arbóreas, calculadas a área basal, em $m^2.ha^{-1}$, e a densidade de indivíduos, em $ind.ha^{-1}$.

3.5 AJUSTE DE EQUAÇÕES HIPSONOMÉTRICAS

Foram utilizados modelos matemáticos de equações hipsométricas referenciados na literatura, sendo lineares e não lineares (Tabela 1).

TABELA 1 MODELOS MATEMÁTICOS UTILIZADOS NO AJUSTE DE EQUAÇÕES HIPSONOMÉTRICAS

MODELO	
1	$h = a + b \ln dap$
2	$h = a + b dap^2$
3	$h = a + b dap + c dap^2$
4	$h = a + \frac{b}{dap}$
5	$h = a + \frac{b}{dap} + \frac{c}{dap^2}$
6	$h = \frac{dap^2}{a + b dap + c dap^2}$
7	$\ln h = a + b \ln dap$
8	$\ln h = a + b dap^2$
9	$\ln h = a + b dap + c dap^2$
10	$\ln h = a + \frac{b}{dap}$
11	$\ln h = a + \frac{b}{dap} + \frac{c}{dap^2}$
12	$h = a + b dap$
13	$h = a + \frac{b}{dap} + \frac{c}{dap^2} + \frac{d}{dap^3} + \frac{e}{dap^4}$
14	$h = a (1 - \exp(-b dap))^c$
15	$h = a (1 - \exp(-b dap))$

h: altura total; *dap*: diâmetro à 1,3 m; *ln*: logaritmo natural e *a*, *b*, *c*, *d*, *e*: coeficientes estimados por regressão.

Utilizando a base de dados de biomassa e carbono, composta por 119 árvores utilizadas no ajuste das equações e 12 árvores para a avaliação gráfica dos resíduos, foram ajustadas equações hipsométricas para estimativa da altura total das espécies arbóreas, afim de complementar o inventário florestal das áreas em estudo.

Os ajustes das equações, a confecção das estatísticas e dos gráficos foram realizadas utilizando-se de *softwares* estatísticos. O critério para seleção das melhores equações foi maior Coeficiente de Determinação Ajustado (R^2_{aj}), seguido do menor Erro Padrão da Estimativa ($S_{yx}\%$) e maior estatística F e análise gráfica da distribuição dos resíduos padronizados.

Para a análise gráfica dos resíduos, foram plotados nos gráficos os resíduos padronizados da base de avaliação, composta por 12 árvores que não participaram dos ajustes, e da base de ajuste, composta por 119 árvores utilizadas nos ajustes das equações, diferenciados por cores. Para fins de melhor apresentação, foram avaliadas apenas as distribuições gráficas dos resíduos das seis melhores equações.

3.6 AJUSTE DE EQUAÇÕES PARA ESTIMATIVA DA BIOMASSA E DO CARBONO FLORESTAL

A base de dados utilizada no ajuste das equações biomassa e carbono foi composta por dados de 131 árvores, das quais 119 foram utilizadas no ajuste das equações e 12 árvores para a avaliação gráfica dos resíduos. Foram ajustados e avaliados 13 modelos matemáticos de regressão para estimativa da biomassa e do carbono florestal. Os modelos foram ajustados para a estimativa da biomassa e do carbono total acima do solo e dos compartimentos fuste, casca, galhos e folhagem.

O ajuste e a seleção das melhores equações de biomassa e carbono foram realizados com os mesmos critérios utilizados para as equações hipsométricas. Foram separadas as seis melhores equações para cada compartimento para avaliação da distribuição gráfica dos resíduos, sendo três formadas apenas pela variável independente *dap* e três formadas pelo *dap* e pela altura total. Os modelos matemáticos utilizados nos ajustes estão apresentados na Tabela 2:

TABELA 2 MODELOS MATEMÁTICOS UTILIZADOS NO AJUSTE DE EQUAÇÕES DE BIOMASSA E CARBONO.

MODELO	
1	$P = \exp(a + b \ln dap)$
2	$P = a + b dap + c dap^2$
3	$P = a \exp dap^b$
4	$P = a dap^b + c \log dap$
5	$P = a \exp(b + c \ln dap + d \ln dap^2 + e \ln dap^3)$
6	$P = a + (1 + b \exp(c dap)^d)$
7	$P = a + b dap^2 h$
8	$P = a dap^2 + b dap^2 h + c dap h^2 + d h^2$
9	$\frac{P}{dap^2} = a + b h$
10	$P = a dap^2 h$
11	$P = a dap^b h^c$
12	$P = a(dap^2 h)^b$
13	$P = a + \exp(b + c dap + d h)$

P : peso da biomassa ou do carbono total ou do compartimento da árvore; dap : diâmetro à 1,3 m; h : altura total; \ln : logaritmo natural; \log : logaritmo na base 10; a, b, c, d, e, f : coeficientes estimados por regressão.

3.7 VALIDAÇÃO DAS EQUAÇÕES DE BIOMASSA E CARBONO

Foram selecionadas as equações ajustadas de biomassa e carbono com as melhores estatísticas R^2_{aj} , $S_{yx}\%$ e estatística F , para validação utilizando uma base de dados testemunha, extraída do trabalho de Watzlawick (2003). Foram selecionadas duas equações para cada compartimento, uma formada apenas pela variável independente dap e a outra pelo dap e pela altura total.

A base de dados era composta por dados de 138 árvores para a biomassa e 76 árvores para o carbono, amostrados em um Fragmento de Floresta Ombrófila Mista no município de General Carneiro, estado do Paraná. A metodologia de quantificação de biomassa utilizada por Watzlawick (2003) foi a mesma deste trabalho. No entanto,

foram utilizados os dados de *dap*, biomassa e carbono que se encontravam dentro do intervalo de dados usado no ajuste das equações.

Para a validação das equações, foi avaliada a distribuição gráfica dos resíduos padronizados e a estimativa total de biomassa e carbono da base de dados. Para essa estimativa, foram somadas as estimativas de biomassa e carbono fornecidas pelas equações de regressão ajustadas para árvores individuais.

Para a comparação do estoque de biomassa e de carbono observado com o estoque estimado, foi gerado um coeficiente de comparação de estoque (CCE) que indica se houve sub ou superestimativa, calculado pela seguinte expressão:

$$CCE = \left(\frac{\text{Estoque estimado}}{\text{Estoque observado}} - 1 \right) * 100$$

Foram recalculados, ainda, o coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}) e o erro padrão da estimativa ($S_{yx}\%$) para as equações, com base nas estimativas e nos dados da base de validação.

3.8 DINÂMICA DO ESTOQUE DE BIOMASSA E CARBONO FLORESTAL

Utilizando os dados de medidas de *dap*, mortalidade e ingresso, levantados nos inventários florestais realizados nas áreas experimentais no ano de implantação, 2007, e no ano de 2012, foram estimados os estoques de biomassa e carbono florestal acima do solo das árvores individuais utilizando as melhores equações ajustadas no trabalho. A partir dessas estimativas de biomassa e carbono, foram estimados os estoques de biomassa e carbono florestal por unidade de área, das árvores com *dap* maior ou igual a 5 cm, em cada unidade experimental nos anos de 2007 e 2012.

Utilizando as estimativas da biomassa e do carbono florestal das áreas em estudo, foram calculados o incremento para o período 2007 a 2012, em $t.ha^{-1}$ e %, e o incremento anual, em $t.ha^{-1}.ano^{-1}$ e %, comparando com a área basal, em $m^2.ha^{-1}$, e a densidade absoluta, em $ind.ha^{-1}$, das referidas áreas.

Foi estimado o CO_2 equivalente ao carbono fixado pelas áreas em estudo, em $t.CO_{2e}.ha^{-1}$ e $t.CO_{2e}.ha^{-1}.ano^{-1}$, no período de 2007 a 2012. O cálculo foi feito com base na massa atômica do carbono, que é aproximadamente 12 u, e na massa molecular do dióxido de carbono (CO_2), que é aproximadamente 44 u. Ou seja, para se obter o

CO₂ equivalente ao estoque de carbono estimado, foi multiplicado o estoque de carbono por 44/12, ou 3,6667.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS BASES DE DADOS

4.1.1 Parcelas Permanentes

O levantamento florístico e o inventário florestal, realizado nas áreas do estudo, mostraram que apenas 7 das 117 espécies encontradas foram comuns a todas as unidades amostrais. Foram elas: *Aegiphila integrifolia* (Jacq.) Moldenke (pau-de-gaiola); *Banara tomentosa* Clos (cambroé); *Campomanesia xanthocarpa* O. Berg. (guabiroba); *Citronella paniculata* (Mart.) Howard (congonha); *Cupania vernalis* Cambess. (cuvatan); *Matayba elaeagnoides* Radlk. (miguel-pintado); e *Strychnos brasiliensis* (Spreng.) Mart. (pula-pula).

A *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, uma das espécies características da Floresta Ombrófila Mista e de maior valor econômico, foi observada apenas na unidade experimental de Castro. Segundo Narvaes *et al.* (2005), a *Araucaria angustifolia* apresenta dificuldade na regeneração natural, e se deve, principalmente, à baixa densidade de indivíduos nos fragmentos florestais.

Devido às dificuldades no processo de regeneração natural da *Araucaria angustifolia*, muitas vezes essa espécie acaba sendo encontrada apenas em fragmentos em estágio mais avançado de sucessão. Longui *et al.* (2006), na classificação e caracterização de estágio sucessionais de um fragmento de Floresta Ombrófila Mista, observaram a *Araucaria angustifolia* apenas no estágio mais avançado de sucessão florestal, classificado como mata primária típica dessa tipologia florestal. A Tabela 3 apresenta a listagem das espécies arbóreas encontradas nas áreas em estudo.

TABELA 3 ESPÉCIES FLORESTAIS ENCONTRADAS NAS ÁREAS DO ESTUDO

(Continua)

Nº	NOME CIENTÍFICO	NOME POPULAR	FAMÍLIA	ÁREAS*			
				BV	CT	CV	RI
1	<i>Actinostemon concolor</i> (Spreng.) Müll.Arg.	laranjerinha	Euphorbiaceae			X	
2	<i>Aegiphila integrifolia</i> (Jacq.) Moldenke	pau-de-gaiola	Lamiaceae	X	X	X	X
3	<i>Albizia polycephala</i> (Benth.) Killip ex Record	farinha-seca	Fabaceae – Mimosoideae	X			X
4	<i>Allophylus edulis</i> (A.St.-Hil., Cambess. & A. Juss.) Radlk. #	vacum	Sapindaceae	X	X	X	
5	<i>Amphilophium crucigerum</i> (L.) L.G.Lohmann	cipó-pente-de-macaco	Bignoniaceae	X			
6	<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan	farinha-seca	Fabaceae			X	
7	<i>Annona emarginata</i> (Schltdl.) H.Rainer	ariticum-amarelo	Annonaceae				X
8	<i>Annona rugulosa</i> (Schltdl.) H. Rainer	ariticum-de-porco	Annonaceae	X		X	X
9	<i>Annona sericea</i> Dunal	ariticum-preto	Annonaceae			X	
10	<i>Annona sylvatica</i> A. St.-Hil.	ariticum	Annonaceae	X			
11	<i>Apuleia leiocarpa</i> (Vogel) J. F. Macbr.	grábia	Fabaceae			X	
12	<i>Araucaria angustifolia</i> (Bertol.) Kuntze #	araucária	Araucariaceae		X		
13	<i>Baccharis organensis</i> Baker #	vassourinha-batata	Asteraceae		X		
14	<i>Balfourodendron riedelianum</i> (Engl.) Engl.	marfim	Rutaceae			X	X
15	<i>Banara tomentosa</i> Clos	cambroé	Salicaceae	X	X	X	X
16	<i>Bauhinia forficata</i> Link	pata-de-vaca	Fabaceae - Caesalpinioidae	X			X
17	<i>Bauhinia longifolia</i> (Bong) Steud.	escada-de-macaco	Fabaceae				X
18	<i>Calyptanthus concinna</i> DC. #	guamirim-facho	Myrtaceae		X		X
19	<i>Campomanesia guazumifolia</i> (Cambess.) O. Berg	sete-capote	Myrtaceae			X	X
20	<i>Campomanesia xanthocarpa</i> O. Berg. #	guabiroba	Myrtaceae	X	X	X	X
21	<i>Casearia decandra</i> Jacq. #	guaçatunga	Salicaceae	X			X
22	<i>Casearia lasiophylla</i> Eichler	guacatunga-graúda	Salicaceae		X		
23	<i>Casearia obliqua</i> Spreng.	guacatunga-vermelha	Salicaceae		X		X
24	<i>Casearia sylvestris</i> Sw.	cafezeiro-do-mato	Salicaceae		X	X	X
25	<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	cedro	Meliaceae	X		X	
26	<i>Cestrum</i> sp.	cestrum	Solanaceae	X			X
27	<i>Chrysophyllum gonocarpum</i> (Mart. & Eichl.) Engl.	guatambú	Sapotaceae			X	X
28	<i>Chrysophyllum marginatum</i> (Hook. & Arn.) Radlk.	guatambú-miúdo	Sapotaceae			X	X
29	<i>Cinnamodendron dinisii</i> Schwanke	pimenteira	Canellaceae		X		
30	<i>Cinnamomum sellowianum</i> (Nees & Mart.) Kosterm.	canela-branca	Lauraceae		X		
31	<i>Citronella paniculata</i> (Mart.) Howard	congonha	Cardiopteridaceae	X	X	X	X
32	<i>Clethra scabra</i> Pers.	carne-de-vaca	Clethraceae	X	X		

TABELA 3 ESPÉCIES FLORESTAIS ENCONTRADAS NAS ÁREAS DO ESTUDO

(Continuação)

Nº	NOME CIENTÍFICO	NOME POPULAR	FAMÍLIA	ÁREAS*			
				BV	CT	CV	RI
33	<i>Cordia americana</i> (L.) Gottshling & J.E.Mill.	guajuvira	Boraginaceae			X	X
34	<i>Cordia trichotoma</i> (Vell.) Arráb. ex Steud.	louro	Boraginaceae			X	X
35	<i>Cordyline spectabilis</i> Kunth & Bouché	uvarana	Asparagaceae	X			X
36	<i>Coutarea hexandra</i> (Jacq.) K. Schum.	coltaria	Rubiaceae	X			X
37	<i>Cupania vernalis</i> Cambess. #	cuvatan	Sapindaceae	X	X	X	X
38	<i>Cyathea</i> sp.	xaxim-com- espinhos	Cyatheaceae	X			
39	<i>Cybistax antisyphilitica</i> (Mart.) Mart.	ipê-verde	Bignoniaceae		X		
40	<i>Dalbergia brasiliense</i> Vogel	jacarandá	Fabaceae- Faboideae		X		X
41	<i>Dalbergia frutescens</i> (Vell.) Britton	rabo-de-bugio	Fabaceae - Faboideae	X		X	X
42	<i>Dasyphyllum brasiliense</i> (Spreng.) Cabr.	não-me-toque	Asteraceae		X		X
43	<i>Diatenopteryx sorbifolia</i> Radlk.	maria-preta	Sapindaceae			X	X
44	<i>Dicksonia sellowiana</i> Hook.	xaxim-sem- espinhos	Dicksoniaceae	X			
45	<i>Drimys brasiliensis</i> Miers #	cataia	Winteraceae		X		
46	<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong	timbaúva	Fabaceae			X	
47	<i>Erythroxylum deciduum</i> A. St.-Hil.	cocão	Erythroxylaceae		X		X
48	<i>Eugenia burkartiana</i> (D. Legrand) D. Legrand	eugenia- burkartiana	Myrtaceae			X	
49	<i>Eugenia involucrata</i> DC.	cerejeira	Myrtaceae				X
50	<i>Eugenia pluriflora</i> DC.	guamirim- pitanga	Myrtaceae		X		
51	<i>Eugenia pyriformis</i> Camb.	uvaia	Myrtaceae	X			
52	<i>Eugenia uniflora</i> L.	pitanga	Myrtaceae			X	
53	<i>Eugenia uruguayensis</i> Camb.	guamirim- uruguai	Myrtaceae		X		
54	<i>Ficus enormis</i> Mart. ex Miq.	figueira	Moraceae			X	X
55	<i>Holocalyx balansae</i> Mich.	alecrim	Fabaceae			X	X
56	<i>Ilex brevicuspis</i> Reissek	voadeira	Aquifoliaceae	X			
57	<i>Ilex dumosa</i> Reissek #	cauninha	Aquifoliaceae		X		
58	<i>Ilex theezans</i> Mart. ex Reissek #	caúna	Aquifoliaceae	X	X		X
59	<i>Inga vera</i> Willd.	ingá-banana	Fabaceae - Mimosoideae	X		X	X
60	<i>Jacaranda micrantha</i> Cham. #	caroba	Bignoniaceae		X		X
61	<i>Lamanonia ternata</i> Vell.	guaraperê	Cunoniaceae		X		
62	<i>Lithraea molleoides</i> (Vell.) Engl.	aroeira-branca	Anacardiaceae		X		
63	<i>Lonchocarpus cultratus</i> (Vell.) Azevedo-Tozzi & H.C.Lima	timbó	Fabaceae – Faboideae	X			X
64	<i>Lonchocarpus muehlbergianus</i> Hassl	timbó-branco	Fabaceae – Faboideae	X			
65	<i>Luehea divaricata</i> Mart. & Zucc.	açoita-cavalo	Malvaceae	X		X	X
66	<i>Machaerium paraguariense</i> Hassl.	sapuvão	Fabaceae – Faboideae	X			X

TABELA 3 ESPÉCIES FLORESTAIS ENCONTRADAS NAS ÁREAS DO ESTUDO

(Continuação)

Nº	NOME CIENTÍFICO	NOME POPULAR	FAMÍLIA	ÁREAS*			
				BV	CT	CV	RI
67	<i>Machaerium stipitatum</i> (DC.) Vogel	sapuva	Fabaceae - Faboideae	X		X	X
68	<i>Manihot grahamii</i> Hook.	mandioca-do-mato	Euphorbiaceae	X			
69	<i>Matayba elaeagnoides</i> Radlk. #	miguel-pintado	Sapindaceae	X	X	X	X
70	<i>Myrceugenia miersiana</i> (Gardner) D. Legrand & Kausel	guamirim	Myrtaceae		X		
71	<i>Myrcia guianensis</i> (Aubl.) DC. #	guamirim-vermelho	Myrtaceae		X		
72	<i>Myrcia hartwegiana</i> (O.Berg) Kiaersk.	guamirim-pertagoela	Myrtaceae		X		
73	<i>Myrcia hatschbachii</i> D. Legrand	caingá	Myrtaceae	X			
74	<i>Myrcia retorta</i> Cambess.	guamirim-ferro	Myrtaceae		X		
75	<i>Myrcia splendens</i> (Sw.) DC.	guamirim-preto	Myrtaceae		X		
76	<i>Myrcianthes pungens</i> (O. Berg) D. Legrand	guabijú	Myrtaceae			X	X
77	<i>Myrciaria tenella</i> (DC.) O. Berg	cambuí	Myrtaceae		X		
78	<i>Myrocarpus frondosus</i> Allemão	cabriuva	Fabaceae - Faboideae			X	X
79	<i>Myrsine coriacea</i> (Sw.) R. Br.	capororoquinha	Primulaceae	X	X		
80	<i>Myrsine umbellata</i> Mart. #	capororocão	Primulaceae	X	X		X
81	<i>Nectandra grandiflora</i> Nees	caneleira	Lauraceae		X		
82	<i>Nectandra lanceolata</i> Nees	canela-amarela	Lauraceae	X			X
83	<i>Nectandra megapotamica</i> (Spreng.) Mez #	canela-imbuia	Lauraceae	X			
84	<i>Ocotea diospyrifolia</i> (Meisn.) Mez	canela	Lauraceae		X		
85	<i>Ocotea nutans</i> (Nees) Mez	canela	Lauraceae		X		X
86	<i>Ocotea odorifera</i> (Vell.) Rohwer	canela-sassafrás	Lauraceae		X		
87	<i>Ocotea porosa</i> (Nees & Mart.) Barroso #	imbuia	Lauraceae		X		
88	<i>Ocotea puberula</i> (Rich.) Nees #	canela-cuaicá	Lauraceae	X	X		X
89	<i>Ocotea pulchella</i> (Nees & Mart.) Mez. #	canela-lageana	Lauraceae		X		
90	<i>Parapiptadenia rigida</i> (Benth.) Brenan	angico-vermelho	Fabaceae – Mimosoideae	X		X	X
91	<i>Persea major</i> (Meisn.) L.E.Kopp #	pau-de-andrade	Lauraceae		X		
92	<i>Phytolacca dioica</i> L.	imbu	Phytolaccaceae	X		X	X
93	<i>Piptocarpha axillaris</i> (Less.) Baker	vassourão-axilares	Asteraceae		X		
94	<i>Prunus brasiliensis</i> (Cham. & Schlecht.) D. Dietrich #	pessegueiro-bravo	Rosaceae	X	X		
95	<i>Raulinoreitzia leptophlebia</i> (B.L.Rob.) R.M.King & H.Rob	vassourão-chorão	Asteraceae			X	
96	<i>Roupala montana</i> var. <i>brasiliensis</i> (Klotzsch) K.S.Edwards	carvalho-brasileiro	Proteaceae		X		X
97	<i>Sapium glandulosum</i> (L.) Morong S. Edwards #	leiteiro	Euphorbiaceae	X	X		X
98	<i>Schinus terebinthifolius</i> Raddii #	aroeira-vermelha	Anacardiaceae		X		X
99	<i>Scutia buxifolia</i> Reisek.	espinho-são-josé	Rhamnaceae		X		

TABELA 3 ESPÉCIES FLORESTAIS ENCONTRADAS NAS ÁREAS DO ESTUDO

(Conclusão)

Nº	NOME CIENTÍFICO	NOME POPULAR	FAMÍLIA	ÁREAS*			
				BV	CT	CV	RI
100	<i>Sebastiania brasiliensis</i> Spreng. #	leiterinho	Euphorbiaceae			X	X
101	<i>Sebastiania commersoniana</i> (Baill.) L.B. Sm. & Downs #	branquilho	Euphorbiaceae	X		X	X
102	<i>Senegalia recurva</i> (Benth.) Seigler & Ebinger	nhapindá	Fabaceae – Mimosoideae	X		X	X
103	<i>Solanum pseudoquina</i> A. St.-Hil.	quina	Solanaceae				X
104	<i>Solanum sanctae-catharinae</i> Dunal	canema	Solanaceae	X			
105	<i>Strychnos brasiliensis</i> (Spreng.) Mart.	pula-pula	Loganiaceae	X	X	X	X
106	<i>Syagrus romanzoffiana</i> (Cham.) Glassman	palmeira	Arecaceae	X		X	X
107	<i>Symplocos tenuifolia</i> Brand	maria-mole	Symplocaceae		X		
108	<i>Symplocos uniflora</i> (Pohl) Benth. #	sete-sangrias	Symplocaceae		X		
109	<i>Trema micrantha</i> (L.) Blume	candiúva	Cannabaceae	X			
110	<i>Trichilia elegans</i> A. Juss.	catiguá	Meliaceae			X	
111	<i>Urera baccifera</i> (L.) Gaudich.	urtigueira	Urticaceae			X	
112	<i>Vasconcellea quercifolia</i> A. St.-Hil.	mamão-do-mato	Caricaceae			X	X
113	<i>Vernonanthura discolor</i> (Spreng.) H. Rob.	vassourão	Asteraceae				X
114	<i>Vitex megapotamica</i> (Spreng.) Moldenke	tarumã	Lamiaceae	X			X
115	<i>Xylosma pseudosalzmanii</i> Sleumer #	sucareiro-verdadeiro	Salicaceae		X	X	X
116	<i>Zanthoxylum fagara</i> (L.) Sarg.	mamica-de-cadela-miúda	Rutaceae				X
117	<i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam.	mamica-de-cadela	Rutaceae	X	X		X

* BV = Boa Ventura de São Roque; CT = Castro; CV = Coronel Vivida; e RI = Reserva o Iguaçu.

Espécies florestais comuns à base de dados de validação, da área de General Carneiro, Paraná.

As linhas destacadas na cor cinza apresentam espécies que não foram representadas na base de dados de biomassa e carbono, utilizada no ajuste das equações.

Segundo a Resolução nº 2/1994 do Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA, (CONAMA, 1994), que estabelece critérios para a classificação dos estágios sucessionais da Floresta Ombrófila Mista, as quatro áreas em estudo estavam no estágio médio de sucessão no ano de 2007, mas já migrando para o avançado. No estágio médio de sucessão são observadas de 5 a 30 espécies arbóreas e uma área basal de 15 a 35 m².ha⁻¹. No entanto, as quatro áreas apresentaram mais de 30 espécies, como pode ser observado na Tabela 4.

TABELA 4 ÁREA BASAL, NÚMERO DE ESPÉCIES E DAP OBSERVADOS NAS ÁREAS EM ESTUDO NO ANO DE 2007

UNIDADE	ÁREA BASAL (m ² .ha ⁻¹)	ESPÉCIES	DAP (cm)		
			MÍN.	MÉDIO	MÁX.
BOA VENTURA DE SÃO ROQUE	30,93	49	4,07	10,60	42,21
CORONEL VIVIDA	24,39	44	4,27	11,27	71,21
CASTRO	36,68	55	4,77	10,50	35,01
RESERVA DO IGUAÇU	27,27	62	4,46	9,20	40,11
MÉDIA	30,16				

No estágio médio de sucessão são observados de 1 a 2 estratos, com presença de espécies predominantemente facultativas. As árvores normalmente apresentam diâmetro variando de 10 a 40 cm e a altura das árvores do dossel varia de 8 a 17 m.

Segundo o CONAMA (1994), nesse estágio de sucessão é comum observar poucas epífitas e a regeneração das árvores do dossel também é pequena. As espécies mais comuns, indicadoras do estágio médio de regeneração, entre outras, podem ser consideradas: caúna (*Ilex theezans*), vassourão-branco (*Piptocarpha angustifolia*), canela-guaicá (*Ocotea puberula*), palmito (*Euterpe edulis*), guapuruvu (*Schizolobium parayba*), guaricica (*Vochsia bifalcata*), cedro (*Cedrela fissilis*), caxeta (*Tabebuia cassinoides*). Muitas destas espécies estão presentes nas áreas em estudo.

4.1.2 Biomassa e Carbono

Para tornar a amostragem representativa em todas as classes diamétricas das áreas em estudo, foram amostradas 131 árvores de pequeno a grande porte. Isso produziu uma base de dados de biomassa e carbono heterogênea, como pode ser observado nas estatísticas descritivas apresentadas na Tabela 5.

TABELA 5 ESTATÍSTICAS DA BASE DE DADOS DE BIOMASSA E CARBONO

		MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA
DAP (cm)		4,23	85,94	14,47
ALTURA TOTAL (m)		3,70	26,20	10,74
CARBONO (kg)	AÉREA TOTAL	0,26	1526,08	58,29
	FUSTE	0,12	629,78	27,25
	CASCA	0,16	69,08	3,51
	FOLHAGEM	0,01	24,34	1,45
	GALHOS	0,03	779,76	27,94
BIOMASSA (kg)	AÉREA TOTAL	0,65	4395,30	145,58
	FUSTE	0,30	1528,59	64,76
	CASCA	0,07	165,89	8,33
	FOLHAGEM	0,03	52,72	3,33
	GALHOS	0,06	2590,73	73,53

Em trabalhos de ajuste de equações para estimar biomassa aérea em Floresta Ombrófila Densa, Silveira (2008) amostrou árvores com *dap* de 7 a 47 cm. Watzlawick (2003), em trabalhos de quantificação de biomassa em carbono da Floresta Ombrófila Mista, amostrou árvores com *dap* de 5,41 a 105,68 cm. Ambos os autores consideraram a amostragem representativa para as áreas estudadas.

Na análise dos teores de carbono amostrados nos diversos compartimentos da biomassa arbórea, verificou-se que a folhagem apresentou o maior teor de carbono, enquanto o menor teor foi observado nos galhos. A Tabela 6 apresenta a proporção do carbono dos compartimentos em relação ao carbono total e os teores médios de cada compartimento da árvore.

TABELA 6 TEORES E PROPORÇÕES DO CARBONO NOS DIVERSOS COMPARTIMENTOS ARBÓREOS

COMPARTIMENTO	TEOR	PROPORÇÃO DO CARBONO
	MÉDIO (%)	AÉREO TOTAL (%)
TOTAL ACIMA DO SOLO	41,26	100
GALHOS	40,76	21,33
FOLHAGEM	42,03	4,42
CASCA	40,81	9,37
FUSTE	41,65	62,86

Resultados semelhantes foram encontrados por Watzlawick *et al.* (2011) em uma Floresta Ombrófila Mista localizada no município de General Carneiro, estado do Paraná. Estes autores encontraram concentrações de carbono na biomassa seca de 41,76% no fuste, 37,97% na casca, 40,61% nos galhos vivos, 41,24% nos galhos mortos e 42,30% na folhagem. Assim como no presente estudo, os autores referenciados acima observaram a maior concentração de carbono na biomassa seca da folhagem e atribuíram às questões metabólicas das plantas. Para Gonçalves e Mello (2000), as plantas normalmente apresentam maiores concentrações de carbono em locais com maior atividade metabólica, como a folhagem, que é o órgão responsável pela fotossíntese.

Das árvores amostradas, a maior parte do carbono estocado na biomassa arbórea foi observada no fuste, que em média representa 62,86% do total, seguida dos galhos, casca e folhagem. As proporções variam de espécie para espécie, devido a características específicas de cada uma delas. Mognon *et al.* (2013), em trabalho com uma Floresta Ombrófila Mista no município de General Carneiro, estado do Paraná, observaram que o fuste representou entre 40 e 50% da biomassa para os grupos de espécies que estudou. Segundo os autores, para a *Araucaria angustifolia* a casca representou mais de 25% da biomassa e para as demais espécies pouco mais de 5%. Já para a biomassa dos galhos, a *Araucaria angustifolia* apresentou em torno de 20% em relação à biomassa total e as demais espécies passaram de 40%.

4.2 AJUSTE DE EQUAÇÕES HIPNOMÉTRICAS

Segundo Machado *et al.* (1994), a relação hipsométrica muitas vezes é caracterizada por baixo coeficiente de determinação (R^2_{aj}) e alto erro padrão da estimativa ($S_{yx}\%$), pois se trata de uma relação dendrométrica fraca. Neste sentido, em florestas naturais, formadas por diversas espécies arbóreas, a baixa exatidão das estimativas das equações hipsométricas pode ser acentuada.

A maioria das equações hipsométricas ajustadas neste trabalho apresentaram desempenhos semelhantes entre si, no que diz respeito ao erro padrão da estimativa, que variou de 24,01% a 28,84%. Quanto ao coeficiente de determinação, as variações foram maiores, com o R^2_{aj} entre 0,352 e 0,551, pois algumas equações apresentaram

desempenho inferior. A estatística F se mostrou significativa para todas as equações, ao nível de confiança de 95% (Tabela 7).

TABELA 7 ESTATÍSTICAS OBTIDAS NAS EQUAÇÕES HIPSOMÉTRICAS AJUSTADAS PARA ESTIMATIVA DA ALTURA TOTAL

EQUAÇÕES	R^2_{aj}	$S_{yx}\%$	F
1 $h = -0,80221 + 4,68337 \ln dap$	0,509	25,11	123,25
2 $h = 9,46618 + 0,00299 dap^2$	0,432	26,99	90,92
3 $h = 6,89717 + 0,27926 dap - 0,00077 dap^2$	0,531	24,53	67,86
4 $h = 16,02854 - \frac{54,25526}{dap}$	0,392	27,93	77,10
5 $h = 20,09711 - \frac{153,57634}{dap} + \frac{493,71548}{dap^2}$	0,497	25,42	59,20
6 $h = \frac{dap^2}{-3,30426 + 1,04979 dap + 0,03375 dap^2}$	0,524	24,72	65,86
7 $h = \exp(1,36706 + 0,39563 \ln dap)$	0,534	24,46	136,03
8 $h = \exp(2,28853 + 0,00015 dap^2)$	0,352	28,84	65,10
9 $h = \exp(2,02446 + 0,02497 dap - 0,00013 dap^2)$	0,524	24,72	65,91
10 $h = \exp(2,90039 - \frac{5,71254}{dap})$	0,448	26,62	96,61
11 $h = \exp(3,13262 - \frac{12,94391}{dap} + \frac{41,516}{dap^2})$	0,511	25,06	62,60
12 $h = 7,32126 + 0,22968 dap$	0,532	24,52	134,88
13 $h = 28,28884 - \frac{626,67877}{dap} + \frac{8284,27475}{dap^2} - \frac{48187,57477}{dap^3} + \frac{98442,17645}{dap^4}$	0,551	24,01	37,15
14 $h = 290,02774 (1 - \exp(-0,00002 dap))^{0,3957}$	0,530	24,57	67,43
15 $h = 16,89203 (1 - \exp(-0,08935 dap))$	0,442	26,76	94,46

h = altura total e dap = diâmetro a altura do peito (1,3 m).

Para todas as equações ajustadas o R^2_{aj} foi baixo, sendo que o maior valor encontrado foi igual a 0,551 para a equação 13, quando o desejável são valores próximos de 1. O baixo R^2_{aj} indica um ajuste pobre das equações, que pode ser explicado pela baixa correlação entre as variáveis altura e dap e pelo modo de agrupamento das espécies. A baixa correlação entre essas duas variáveis é comum e foi destacada por Chapman e Meyer (1949), que afirmaram que a curva altura total

sobre o diâmetro não apresenta comportamento biológico bem definido, tanto em espécies nativas quanto em plantadas.

O fato de a base de dados utilizada no ajuste das equações ser formada por dados oriundos de 4 áreas, espalhadas por toda a região de abrangência da Floresta Ombrófila Mista no estado do Paraná, pode colaborar para os ajustes apresentarem baixos R^2_{aj} . Mognon *et al.* (2012), em ajustes de equações hipsométricas para Floresta Ombrófila Mista Montana no município de General Carneiro, estado do Paraná, obteve o melhor ajuste com o modelo de Chapman e Richards (adaptado), com $R^2_{aj} = 0,69$ e $S_{yx}\% = 18,34$, o qual considerou acurado.

Para o $S_{yx}\%$ são desejáveis valores próximos de 0. O menor valor para o erro padrão da estimativa no presente estudo foi observado para a equação 13, com $S_{yx} = 24,01\%$, ligeiramente maior que o encontrado por Mognon *et al.* (2012), que observou $18,34\%$, também para a Floresta Ombrófila Mista. Sanquetta *et al.* (2013) também observaram baixo coeficiente de determinação no ajuste de equações hipsométricas para a Floresta Ombrófila Mista em São João do Trinfo, Paraná, com $R^2_{aj} = 0,41$, e $S_{yx}\% = 18,34$. Esses autores compararam ajustes para apenas uma espécie arbórea, a *Araucaria angustifolia*, que ajustaram equações hipsométricas com $R^2_{aj} = 0,68$, e $S_{yx}\% = 12,41$.

Mas, mesmo em ajustes de equações hipsométricas para uma única espécie, o coeficiente de determinação costuma ser baixo e o erro padrão da estimativa alto, como pode ser observado no trabalho de Pizatto (1999), em equações hipsométricas para *Araucaria angustifolia*, onde a autora encontrou $R^2_{aj} = 0,70$ e $S_{yx}\% = 14,17$. Machado *et al.* (2008), também para a *Araucaria angustifolia*, ajustaram equações hipsométricas com estatísticas de ajuste médias de $R^2_{aj} = 0,18$ e $S_{yx}\% = 13$.

Segundo Mognon *et al.* (2012), mesmo nos processos tradicionais de medição de alturas em florestas naturais são observados problemas. Segundo esses autores, o principal problema observado é a impossibilidade de se enxergar a extremidade da copa, pois os métodos tradicionais de obtenção de alturas estão baseados na relação trigonométrica e, para se ter bons resultados, é necessário que se tenha uma boa visão da base da árvore e de seu ápice, que é muito difícil de se obter, em função das peculiaridades de cada indivíduo, como a tortuosidade, inclinação e copas sobrepostas. Dessa forma, as metodologias indiretas de obtenção da altura, como as equações hipsométricas, se justificam, mesmo com as limitações características dessas metodologias.

A avaliação dos resíduos das equações 3, 7, 9, 12, 13 e 14, que são as seis melhores equações hipsométricas ajustadas, com melhores estatísticas R^2_{aj} e $S_{yx}\%$, foi feita utilizando a análise gráfica dos resíduos padronizados, utilizando-se da base de dados separada para esse fim e todos os dados utilizados nos ajustes das equações, diferenciados por cores (Figura 3).

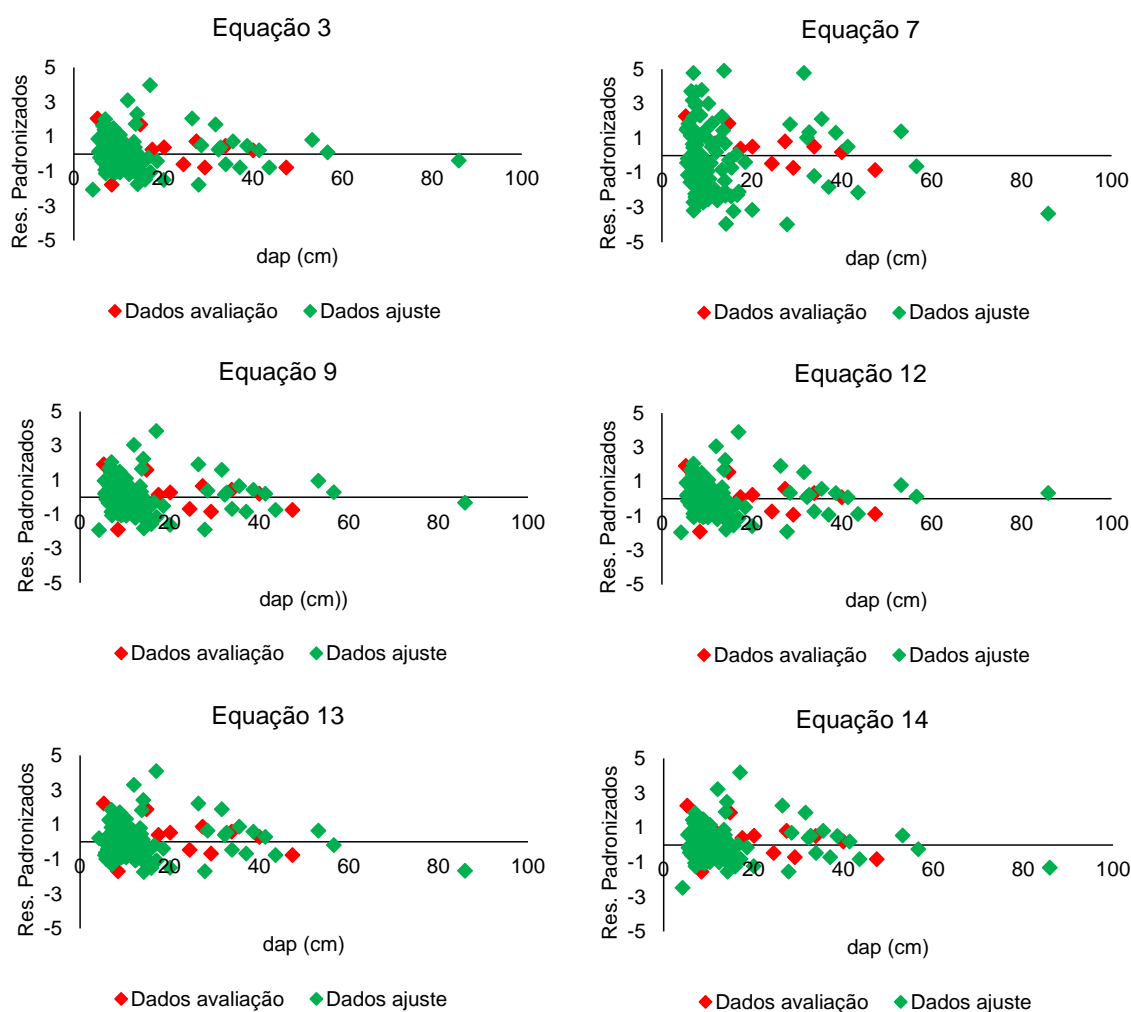


FIGURA 3 DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS DAS MELHORES EQUAÇÕES HIPSONÉTRICAS AJUSTADAS

Observou-se que as equações apresentaram distribuição dos resíduos sem tendências de subestimativa ou superestimativa ao longo de todo o intervalo de *dap* analisado, sobretudo os dados da base de avaliação, os quais não foram utilizados nos ajustes das equações e apresentaram distribuição dos resíduos aleatória ao longo do eixo do *dap*. Das equações, a que apresentou distribuição gráfica dos resíduos com maior amplitude foi a equação 7.

No entanto, observou-se que para alguns pontos os resíduos se mostram maiores, em módulo, nas seis equações avaliadas. Esse fato também foi observado por Sanquetta *et al.* (2013), nos ajustes de equações hipsométricas para um fragmento de Floresta Ombrófila Mista. Mas, esses autores concluíram que as equações poderiam ser utilizadas por não apresentar tendências de subestimativa ou superestimativa, tal como no presente estudo.

Neste sentido, embora a equação 13 tenha apresentado melhores estatísticas de ajuste, a equação 12 ($h = 7,32126 + 0,22968 dap$) apresentou estatísticas similares e se mostrou mais simples e pode ser considerada a melhor equação hipsométrica, ajustada no presente trabalho, para estimativa da altura total das árvores dos fragmentos de Floresta Ombrófila Mista estudados.

4.3 AJUSTE DE EQUAÇÕES PARA ESTIMATIVA DA BIOMASSA E DO CARBONO FLORESTAL

4.3.1 Biomassa e Carbono Aéreo Total

Das equações ajustadas para a estimativa da biomassa e do carbono florestal total acima do solo, foram selecionadas as seis melhores equações que apresentaram melhores estatísticas, que foram o Coeficiente de Determinação Ajustado (R^2_{aj}), Erro Padrão da Estimativa ($S_{yx}\%$) e Estatística F.

Observou-se para a biomassa que as equações apresentaram estatísticas muito similares entre si, com o R^2_{aj} variando entre 0,981 e 0,977 e o $S_{yx}\%$ entre 47,83 e 52,97%. Santana *et al.* (2008) consideram um R^2 de 0,85 alto para um modelo bastante abrangente, sugerindo que o R^2_{aj} superior a 0,97, encontrado nas equações ajustadas no presente trabalho, é altamente significativo, como pode ser observado na Tabela 8.

TABELA 8 ESTATÍSTICAS OBTIDAS PARA AS MELHORES EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA ESTIMATIVA DA BIOMASSA TOTAL

	EQUAÇÕES	R^2_{aj}	$S_{yx}\%$	F*
1	$Btotal = \exp(-3,07697 + 2,57018 \ln dap)$	0,977	52,97	4990,17
4	$Btotal = 0,03232 dap^{2,64923} + 15,98866 \log dap$	0,977	52,30	2561,49
5	$Btotal = 0,06222 \exp(-0,29985 + 0,75178 \ln dap + 0,42765 \ln dap^2 + 0,32104 \ln dap^3)$	0,976	53,67	1215,55
7	$Btotal = 6,47920 + 0,02244 dap^2 h$	0,981	48,65	5938,46
9	$\frac{Btotal}{dap^2} = 0,02977 + 0,02126 h$	0,980	48,71	5924,53
13	$Btotal = -237,79 + \exp(5,07159 + 0,03326 dap + 0,01943 h)$	0,981	47,83	2050,35

$Btotal$ = biomassa aérea total; dap = diâmetro a 1,3 m de altura, h = altura total; \log = logaritmo na base 10; \ln = logaritmo na base e; e \exp = função exponencial.

* ao nível de confiança de 95%.

Comparativamente com outros trabalhos realizados, observou-se que as equações apresentaram maior $S_{yx}\%$. No entanto, os demais autores realizaram trabalhos em um único fragmento florestal ou em plantações florestais. Ratuchne (2010) ajustou equações para estimativa da biomassa total em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista Montana no município de General Carneiro, estado do Paraná, e encontrou $R^2_{aj} = 0,971$ e $S_{yx}\% = 36,27$. Miranda (2008), no ajuste de equações para estimativa da biomassa total em áreas de restauração da Floresta Estacional Semidecidual, no sudoeste do estado de São Paulo, encontrou R^2 igual a 0,97 e S_{yx} de 20,98%, mas para áreas de vegetação exótica, com uniformidade de idades. Valerio *et al.* (2007), que encontraram uma equação para estimativa da biomassa total com R^2_{aj} igual a 97,53 e S_{yx} de 9,77%, para a uva do Japão (*Hovenia dulcis* Thumb.).

O menor ajuste das equações no presente trabalho pode ser explicado pela base de dados utilizada. Pois, a separação geográfica dos quatro fragmentos florestais utilizados para a amostragem da biomassa, que objetivou tornar as equações ajustadas com abrangência para os fragmentos de Floresta Ombrófila Mista no estado do Paraná, também tornou a base heterogênea.

Na análise gráfica da distribuição dos resíduos não foi observado tendências de sub ou superestimativas, pois os resíduos estão distribuídos aleatoriamente ao longo do eixo das abscissas (Figura 4).

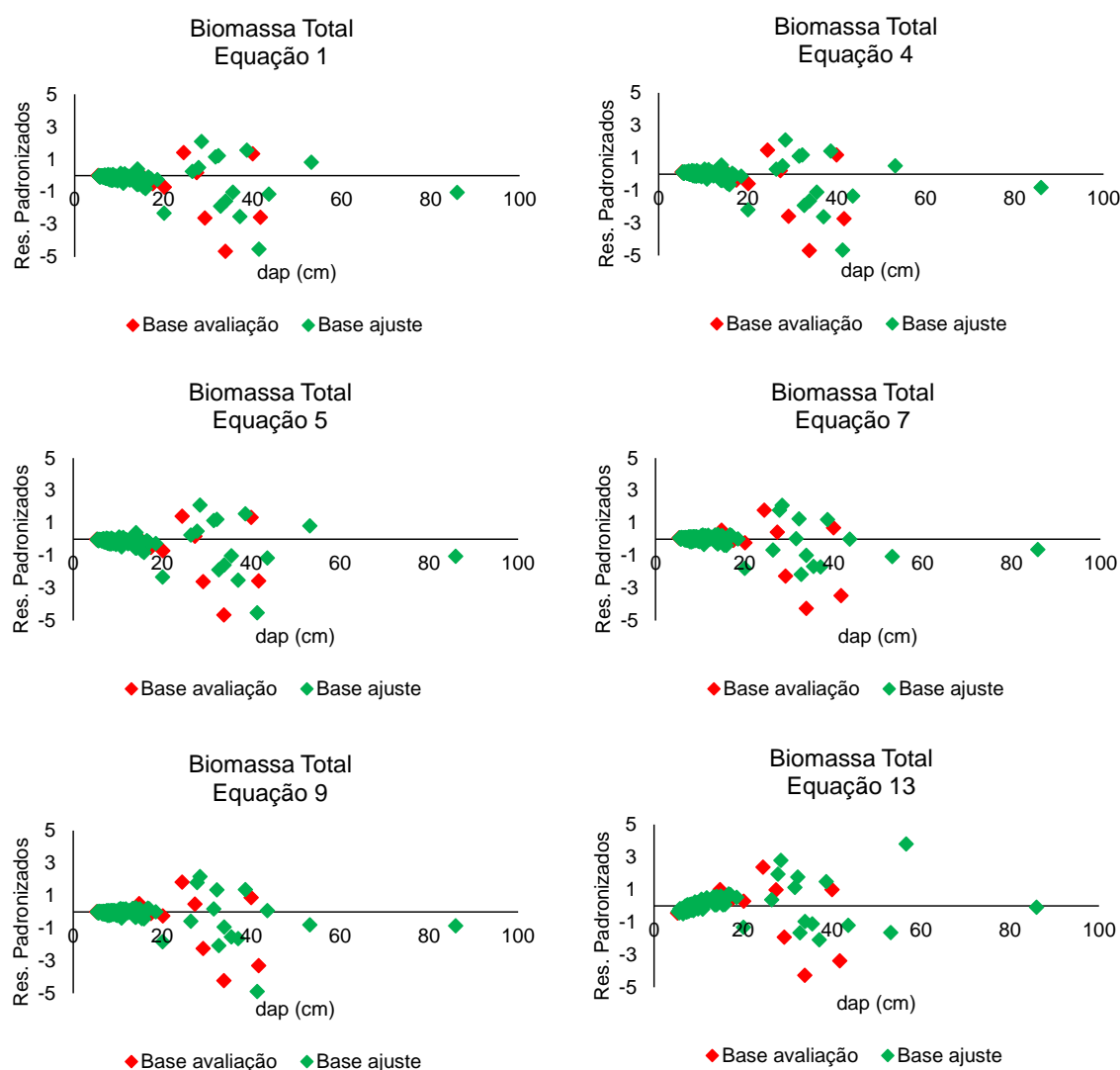


FIGURA 4 DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS DAS MELHORES EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA A ESTIMATIVA DA BIOMASSA ÁREA TOTAL

No entanto, pode ser observado que os resíduos se apresentam maiores, em módulo, à medida que aumenta o *dap*. Para as árvores com *dap* até 20 cm, os resíduos foram visivelmente menores, indicando que para esse intervalo de *dap* as estimativas apresentam os menores níveis relativos de erros.

As equações ajustadas apenas com a variável independente *dap* apresentaram estatísticas R^2_{aj} e $S_{yx}\%$ e distribuição gráfica dos resíduos muito próximas às observadas nas equações que incluíam a variável independente *h*. Mognon *et al.* (2012) ressalta que nas florestas nativas a obtenção da variável altura em inventários florestais torna-se complexa, principalmente pela dificuldade de visualização do topo das árvores. Já o processo de estimativa da altura, principalmente em florestas

naturais, apresenta pouca exatidão e, dessa forma, são preferíveis equações para estimativa da biomassa que apresentem apenas a variável independente *dap*, que é de maior facilidade de obtenção.

A vantagem para uso prático de equações alométricas, para estimativa da biomassa florestal, formadas apenas pela variável independente *dap*, também foi destacada por Nogueira *et al.* (2008), que estimaram a biomassa na Amazônia brasileira.

Dessa forma, a equação 4 ($B_{total} = 0,03232 \text{ dap}^{2,64923} + 15,98866 \log \text{dap}$), com R^2_{aj} igual a 0,977 e S_{yx} de 52,30%, e a equação 13 ($B_{total} = -237,79 + \exp(5,07159 + 0,03326 \text{ dap} + 0,01943 h)$), com R^2_{aj} igual a 0,981 e S_{yx} de 47,83%, foram consideradas as indicadas para a estimativa da biomassa aérea total.

Para o carbono total, observou-se que o ajuste das equações de regressão apresentou resultados muito semelhantes entre os modelos testados. De maneira geral, as equações apresentaram alto coeficiente de determinação (R^2_{aj}) e estatística F, o que é desejável, mas também alto erro padrão da estimativa ($S_{yx}\%$), como pode ser observado na Tabela 9, que apresenta os resultados para as seis melhores equações ajustadas.

TABELA 9 ESTATÍSTICAS OBTIDAS PARA AS MELHORES EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA A ESTIMATIVA DO CARBONO TOTAL ACIMA DO SOLO

EQUAÇÕES	R^2_{aj}	$S_{yx}\%$	F*
1 $C_{total} = \exp(-3,12397 + 2,34367 \ln \text{dap})$	0,972	53,18	4152,73
4 $C_{total} = 0,03805 \text{ dap}^{2,37592} + 2,63943 \log \text{dap}$	0,972	53,28	2069,31
6 $C_{total} = -127,57 + (1 + 100,77 \exp(0,05706 \text{ dap})^{0,57024})$	0,972	53,59	1363,50
9 $\frac{C_{total}}{\text{dap}^2} = 0,06796 + 0,00523 h$	0,975	50,34	4648,37
11 $C_{total} = 0,02675 \text{ dap}^{1,86901} h^{0,80141}$	0,975	50,17	2341,02
12 $C_{total} = 0,02469 (\text{dap}^2 h)^{0,90544}$	0,976	50,01	4712,27

h: altura total; *dap*: diâmetro a 1,3 m; *ln*: logaritmo natural.

* ao nível de confiança de 95%.

Observou-se que as equações que apresentavam na sua composição a variável independente altura total (*h*), além do *dap*, apresentaram erro padrão da estimativa ($S_{yx}\%$) ligeiramente menor do que as equações formadas apenas pela

variável independente *dap*. Isso ocorre, segundo Silveira *et al.* (2008), pela informação adicional fornecida pela variável altura, tendendo a gerar estimativas um pouco mais exatas.

Cabe ao pesquisador avaliar se a inclusão de uma determinada variável independente no modelo de regressão gera estimativas mais exatas a ponto de justificar sua obtenção a campo. Pois, no caso da variável altura total, a sua obtenção a campo em florestas nativas é onerosa, inexata e pode se tornar inviável em grandes inventários florestais (MOGNON *et al.*, 2012).

A equação 12 ($C = 0,02469(dap^2h)^{0,90544}$) apresentou as melhores estatísticas ($R^2_{aj} = 0,976$ e $S_{yx}\% = 50,01$), com leve vantagem sobre as demais equações. A equação 1 ($C = \exp(-3,12397 + 2,34367 \ln dap)$) apresentou estatísticas muito similares à equação 12, com $R^2_{aj} = 0,972$ e $S_{yx}\% = 53,18$. No entanto, a equação 1 apresenta apenas a variável independente *dap*, e não apresenta a variável altura total, o que torna sua aplicação mais prática, pois não obriga o pesquisador a conhecer a variável altura total das árvores estudadas, seja por medições a campo ou por estimativas feitas por equações hipsométricas. Como as equações hipsométricas ajustadas para o conjunto de dados apresentou resultados medianos, as equações que não apresentam a variável altura tornam-se mais atrativas do ponto de vista da praticidade.

As equações ajustadas para estimativa do carbono no presente trabalho apresentaram desempenho similar às encontradas por Miranda *et al.* (2011) em trabalhos com biomassa e carbono de reflorestamento de restauração, na Floresta Estacional Semidecidual e Cerrado. Estes autores ajustaram equações para o carbono total com $R^2_{aj} = 0,918$ e $S_{yx}\% = 43,03$, resultados muito similares aos encontrados no presente estudo.

Ratuchne (2010), em ajuste de equações alométricas para estimar o carbono florestal em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista no município de General Carneiro, estado do Paraná, encontrou resultados similares aos do presente trabalho, sendo que a melhor equação ajustada por aquele autor apresentou $R^2_{aj} = 0,975$ e $S_{yx}\% = 37,57$.

Em equações de carbono ajustadas para apenas uma espécie nativa, o erro padrão da estimativa tende a ser um pouco menor. Urbano *et al.* (2008) ajustaram equações para a estimativa do carbono em *Mimosa scabrella* Benth (bracatinga) em povoamentos nativos, e encontraram equação com $R^2_{aj} = 0,949$ e $S_{yx}\% = 24,44$.

No entanto, para florestas nativas, o ajuste de equações de carbono por espécies torna-se inviável, devido ao grande número de espécies arbóreas presentes nas tipologias florestais.

Para a avaliação da distribuição gráfica dos resíduos das equações de carbono ajustadas, foram analisados os resíduos padronizados plotados sobre o *dap* (Figura 5).

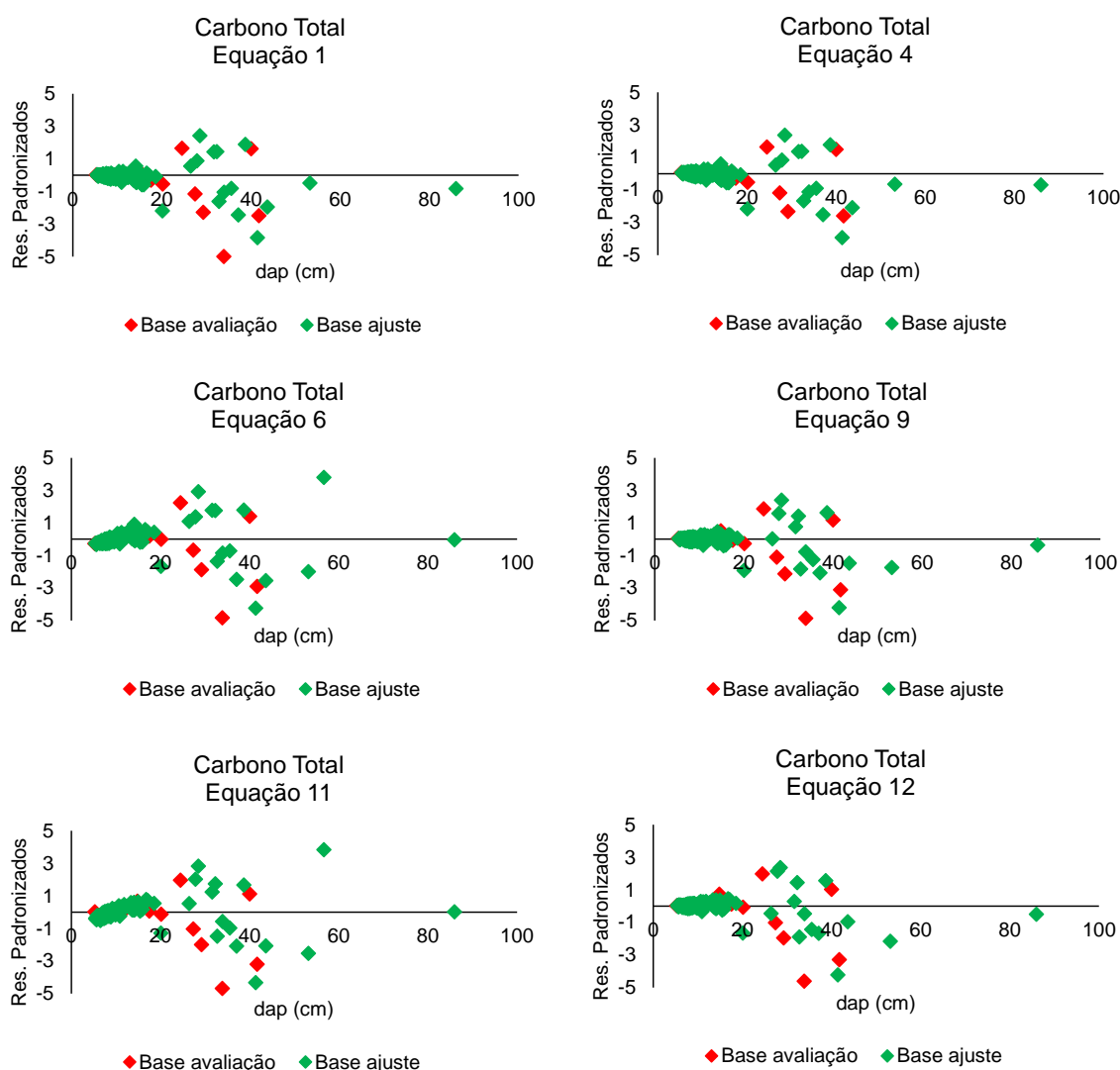


FIGURA 5 DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS DAS MELHORES EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA A ESTIMATIVA DO CARBONO TOTAL

Os resíduos padronizados de todas as equações analisadas não apresentaram tendências de subestimativa ou superestimativa. Constatou-se que as equações forneceram resíduos maiores, em módulo, para árvores de maior porte, o

que pode ser explicado pela natureza matemática das equações, que na sua maioria são exponenciais.

Observou-se que as equações formadas apenas pela variável *dap* e suas transformações matemáticas apresentaram desempenho similar às equações que eram compostas também pela variável independente altura total (*h*), o que pode ser uma vantagem para o uso já prático das equações, não sendo necessário conhecer a altura das árvores.

Dessa forma, pode-se considerar a equação 1 ($C = \exp(-3,12397 + 2,34367 \ln dap)$), com $R^2_{aj} = 0,972$ e $S_{yx}\% = 53,18$, e a equação 12 ($C = 0,02469(dap^2 h)^{0,90544}$) com $R^2_{aj} = 0,976$ e $S_{yx}\% = 50,01$, como as equações indicadas para a estimativa do carbono aéreo total.

4.3.2 Biomassa e Carbono do Fuste

As melhores equações ajustadas para a estimativa da biomassa seca da madeira do fuste apresentaram R^2_{aj} acima de 0,98 e $S_{yx}\%$ variando entre 30,42 e 35,95%, e a estatística F significativa para todas (Tabela 10).

TABELA 10 ESTATÍSTICAS OBTIDAS PARA AS MELHORES EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA ESTIMATIVA DA BIOMASSA DO FUSTE

EQUAÇÕES		R^2_{aj}	$S_{yx}\%$	F*
1	$Bfuste = \exp(-2,88457 + 2,29168 \ln dap)$	0,984	35,95	6814,45
4	$Bfuste = 0,03140 dap^{2,42003} + 10,6244 \log dap$	0,986	33,62	3903,16
6	$Bfuste = -125,61 + (1 + 104,16 \exp(0,17848 dap)^{0,18063})$	0,985	34,73	2436,55
8	$Bfuste = -8,28841 + 0,0524 dap^2 + 0,00635 dap^2 h - 0,00340 dap h^2 + 0,17889 h^2$	0,989	28,85	2661,38
11	$Bfuste = 0,02837 dap^{1,68337} h^{1,0395}$	0,988	30,42	4781,14
12	$Bfuste = 0,03199(dap^2 h)^{0,88478}$	0,988	30,42	9557,83

Bfuste = biomassa do fuste; *dap* = diâmetro a 1,3 m de altura, *h* = altura total; *log* = logaritmo na base 10; *ln* = logaritmo na base e; e *exp* = função exponencial.

* ao nível de confiança de 95%.

As equações formadas pela variável independente h , além da variável dap , apresentaram estatísticas ligeiramente melhores que as formadas apenas pelo dap . No entanto, a inclusão da variável h não melhorou as estatísticas das equações a ponto de justificar a sua inclusão. A equação formada apenas pela variável independente dap que apresentou melhor coeficiente de determinação e erro padrão da estimativa foi a equação 6 ($Bfuste = 0,03140 dap^{2,42003} + 10,6244 \log dap$), com 0,985 e 34,73%, respectivamente. Para a equação formada pelas variáveis independentes dap e h , a que apresentou melhores R^2_{aj} e $S_{yx}\%$ foi a equação 8 ($Bfuste = -8,28841 + 0,0524 dap^2 + 0,00635 dap^2 h - 0,00340 dap h^2 + 0,17889 h^2$), com 0,989 e 29,44%, respectivamente.

Dessa forma, a equação 4 ($Bfuste = 0,03140 dap^{2,42003} + 10,6244 \log dap$) apresenta maior facilidade de aplicação prática, por não necessitar da variável altura total, que é de difícil obtenção em florestas naturais e de estimativa pouco exata com o uso de equação hipsométricas.

O resultado encontrado para as equações sugere bons ajustes, principalmente considerando a diversidade de espécies, que estão em diversos estágios de desenvolvimento e oriundas de fragmentos florestais separados geograficamente. Comparativamente com trabalhos de outros autores, pode-se citar Socher (2004), que ajustou equações para estimativa da biomassa em uma área de Floresta Ombrófila Mista Aluvial e seus resultados foram muitos próximos aos do presente trabalho, com $R^2_{aj} = 0,939$ e $S_{yx}\% = 20,21$. Este autor considerou que os resultados foram satisfatórios, principalmente pelo fato das equações serem ajustadas com uma base de dados muito ampla, contemplando diversas espécies. Páscoa *et al.* (2008), encontraram R^2_{aj} de 0,930, no ajuste de equações para estimativa da biomassa do fuste de pinheiro bravo e consideraram as equações de boa qualidade.

Na análise da distribuição gráfica dos resíduos verificou-se que os pontos ficaram distribuídos aleatoriamente ao longo do eixo das abscissas, sem caracterizar algum tipo de tendência, o que é desejável. Apenas foi observado um aumento dos resíduos para árvores com dap maiores, como pode ser observado na Figura 6.

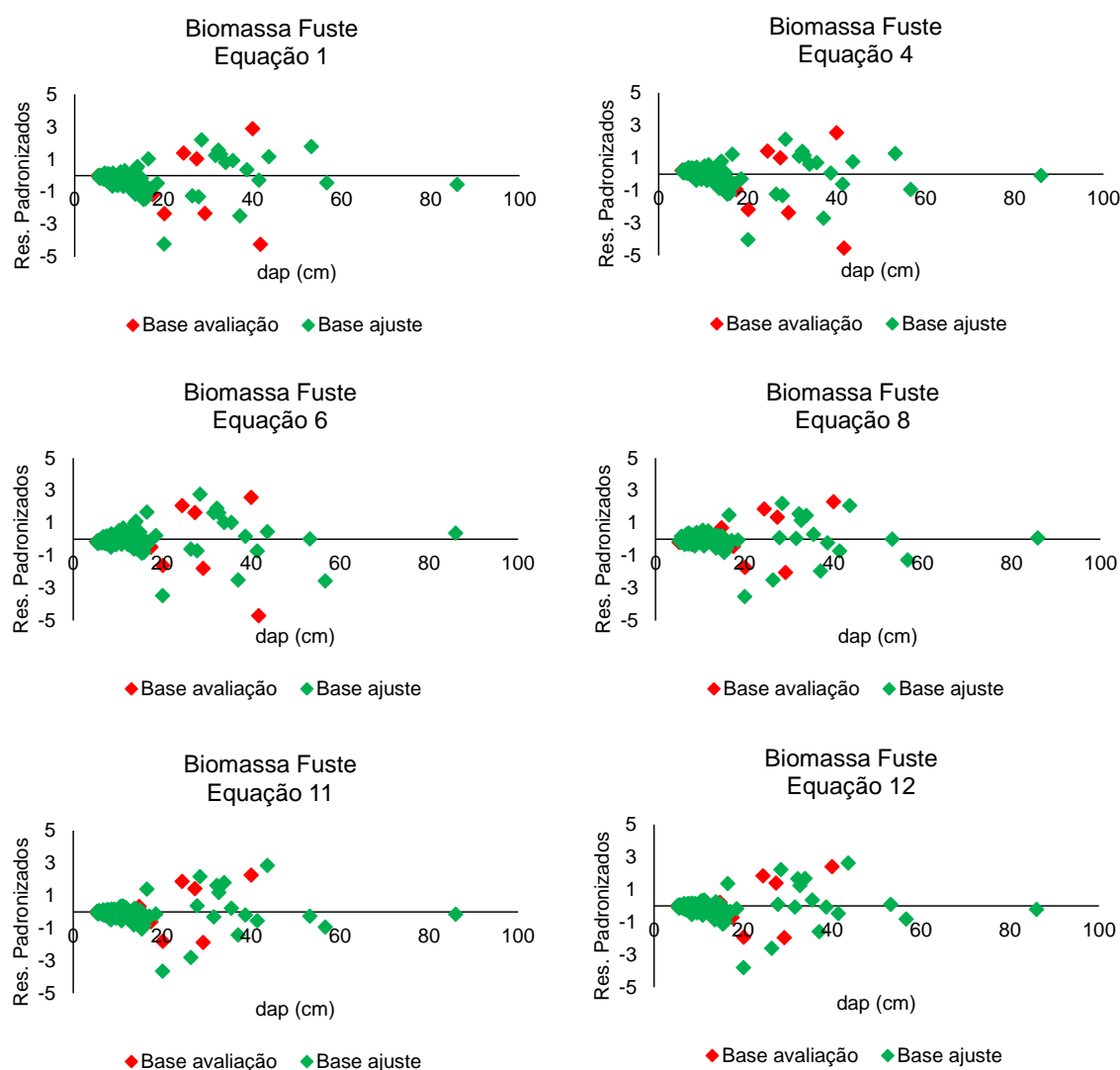


FIGURA 6 DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS DAS MELHORES EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA A ESTIMATIVA DA BIOMASSA DO FUSTE

Assim como para a biomassa do fuste, as melhores equações ajustadas para o carbono apresentaram boas medidas de ajuste, com coeficiente de determinação acima de 0,98, e erro padrão da estimativa abaixo de 36% e estatística F significativo. Observou-se menor $S_{yx}\%$ para as equações formadas simultaneamente pelas variáveis independentes dap e h . No entanto, a diferença pode ser considerada pequena para justificar a obtenção da altura total a campo, afim de compor os modelos de regressão, como pode ser observado na Tabela 11.

TABELA 11 ESTATÍSTICAS OBTIDAS PARA AS MELHORES EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA A ESTIMATIVA DO CARBONO DO FUSTE

EQUAÇÕES		R^2_{aj}	$S_{yx}\%$	F*
1	$Cfuste = \exp(-3,74343 + 2,28477 \ln dap)$	0,983	35,91	6686,02
4	$Cfuste = 0,01268 dap^{2,4238} + 4,6937 \log dap$	0,986	33,25	3909,44
6	$Cfuste = -51,87 + (1 + 42,73 \exp(0,14913 dap)^{0,21635})$	0,986	33,45	2574,56
8	$Cfuste = -3,87066 + 0,002281 dap^2 + 0,00276 dap^2 h - 0,0022 dap h^2 + 0,08611 h^2$	0,989	28,76	2622
12	$Cfuste = 0,01358(dap^2 h)^{0,8821}$	0,988	30,84	9106,05
13	$Cfuste = -49,83 + \exp(3,58243 + 0,02829 dap + 0,01960 h)$	0,988	30,84	3034,71

$Cfuste$ = carbono do fuste; dap = diâmetro a 1,3 m de altura, h = altura total; \log = logaritmo na base 10; \ln = logaritmo na base e; e \exp = função exponencial.

* ao nível de confiança de 95%.

Comparativamente com outros trabalhos constantes na literatura, pode-se citar o desenvolvido por Ratuchne (2010), no ajuste de equações para a estimativa do carbono do fuste da Floresta Ombrófila Mista em General Carneiro-PR, que ajustou uma equação com R^2_{aj} de 0,991 e S_{yx} de 25,59%. Além do trabalho de Urbano *et al.* (2008), que encontraram a melhor equação para a estimativa do conteúdo de carbono no fuste da bracatinga pelo método *forward*, com estatísticas muito similares às do presente trabalho. Soares e Oliveira (2002), que ajustaram uma equação para a estimativa do carbono do fuste de eucalipto, em Viçosa – MG, e obtiveram as estatísticas $R^2 = 98,82\%$ e $CV = 16,30\%$.

Os autores acima referenciados consideraram satisfatórios estes resultados, o que sugere que as equações ajustadas para estimar o carbono do fuste no presente trabalho apresentaram bons resultados, pois são similares aos encontrados por esses autores em ajustes de equações menos abrangentes.

Na análise gráfica da distribuição dos resíduos, verificou-se que as equações apresentaram comportamento similar entre si. Não foram observadas tendências de subestimativa ou superestimativa ao longo de toda amplitude de dados estudada, ficando os resíduos distribuídos aleatoriamente (Figura 7).

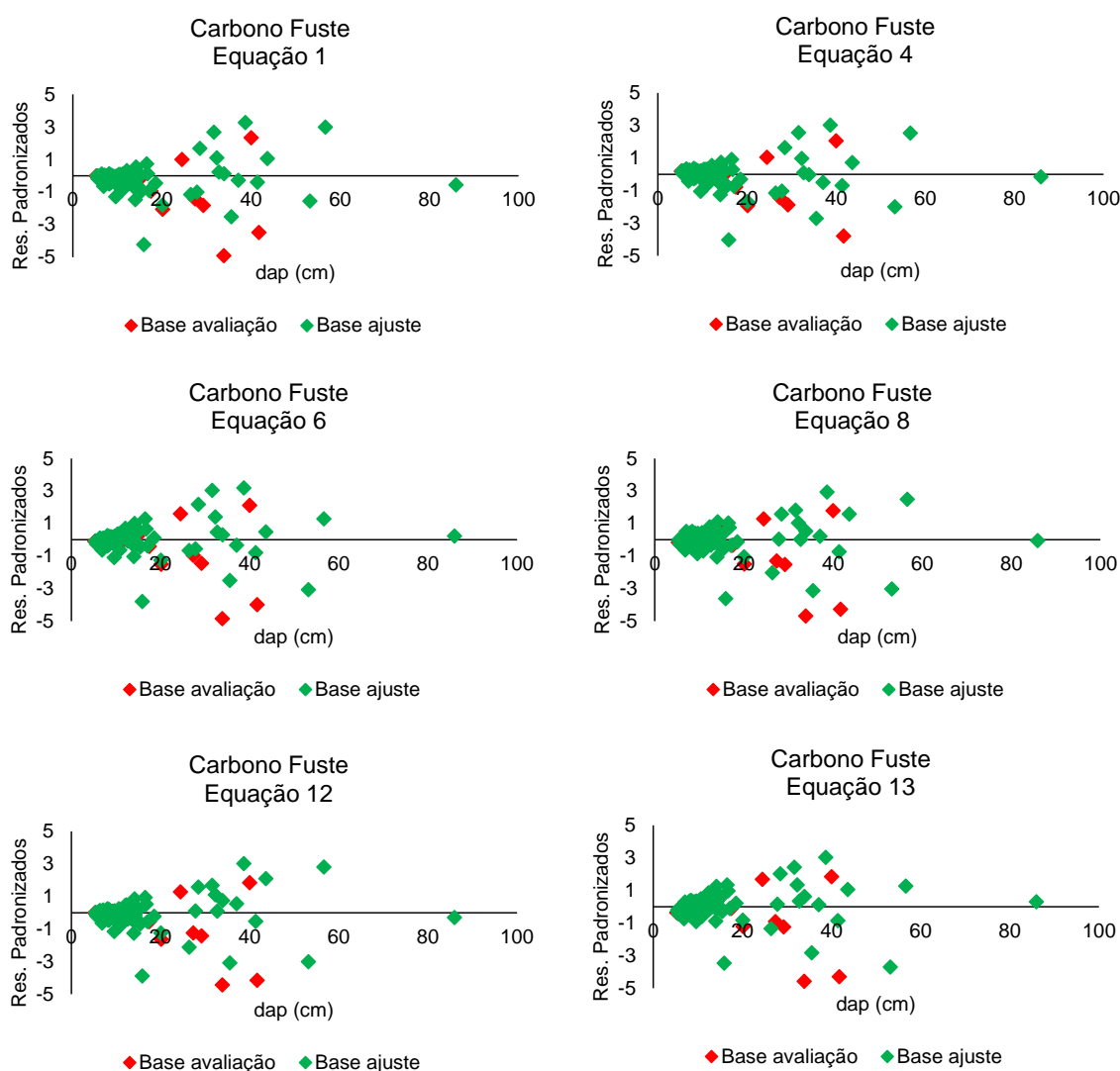


FIGURA 7 DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS DAS MELHORES EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA A ESTIMATIVA DO CARBONO DO FUSTE

Assim, as equações indicadas para a estimativa da biomassa do fuste são a equação 4 ($B_{fuste} = 0,03140 \, dap^{2,42003} + 10,6244 \log dap$), com R^2_{aj} de 0,986 e S_{yx} de 33,62%, e a equação 8 ($B_{fuste} = -8,28841 + 0,0524 \, dap^2 + 0,00635 \, dap^2 h - 0,00340 \, dap \, h^2 + 0,17889 \, h^2$), com R^2_{aj} de 0,989 e S_{yx} de 28,85%.

Para o carbono do fuste, as equações indicadas são a 4 ($C_{fuste} = 0,01268 \, dap^{2,4238} + 4,6937 \log dap$), com R^2_{aj} de 0,986 e S_{yx} de 33,25%, e a equação 8 ($C_{fuste} = -3,87066 + 0,02281 \, dap^2 + 0,00276 \, dap^2 h - 0,0022 \, dap \, h^2 + 0,08611 \, h^2$), com R^2_{aj} de 0,989 e S_{yx} de 28,76%.

4.3.3 Biomassa e Carbono da Casca

Para a biomassa da casca, de uma maneira geral, as equações ajustadas apresentaram bons coeficientes de determinação ajustado, mas alto erro padrão da estimativa. Os R^2_{aj} ficaram abaixo dos observados por Miranda (2008), que foram superiores a 0,98, e semelhantes ao encontrado por Páscoa *et al.* (2008), que foi de 0,9209. Socher (2004), para a Floresta Ombrófila Mista Aluvial, em Araucária-PR, encontrou coeficiente de determinação ajustado muito inferior, 0,457, e erro padrão da estimativa superior aos do presente trabalho, 78,20%. As equações ajustadas e as estatísticas de ajuste estão apresentadas na Tabela 12.

TABELA 12 ESTATÍSTICAS OBTIDAS PARA AS MELHORES EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA ESTIMATIVA DA BIOMASSA DA CASCA

EQUAÇÕES	R^2_{aj}	$S_{yx}\%$	F*
2 $B_{casca} = 3,70251 - 0,39443 \, dap + 0,02625 \, dap^2$	0,929	70,09	738,79
3 $B_{casca} = 0,23802 \exp dap^{0,42247}$	0,930	69,58	1499,73
4 $B_{casca} = 0,00345 \, dap^{2,41711} + 1,84007 \log dap$	0,932	68,58	774,13
8 $B_{casca} = -0,96909 + 0,00165 \, dap^2 + 0,00056 \, dap^2 h$ $+ 0,00054 \, dap \, h^2 + 0,02211 \, h^2$	0,942	63,54	455,86
11 $B_{casca} = 0,00234 \, dap^{1,22131} h^{1,75589}$	0,942	63,76	903,99
13 $B_{casca} = -12,93 + \exp(2,11899 + 0,0238 \, dap$ $+ 0,0395 \, h)$	0,937	66,29	555,12

B_{casca} = biomassa da casca; dap = diâmetro a 1,3 m de altura, h = altura total; \log = logaritmo na base 10; e \exp = função exponencial.

* ao nível de confiança de 95%.

Embora o R^2_{aj} tenha se apresentado satisfatório, o $S_{yx}\%$ foi muito elevado, o que denota estimativas de baixa exatidão. Verificou-se, ainda, que a inclusão da variável independente altura total nos modelos de regressão não melhorou significativamente os ajustes das equações.

Da mesma forma que no presente trabalho, Socher (2004) encontrou equações com estatísticas similares para estimativa da biomassa da casca de um fragmento de floresta Ombrófila Mista Aluvial. Este autor considerou insatisfatórios os resultados e ponderou que a inclusão de uma variável que represente a espessura da casca pode melhorar a exatidão das estimativas das equações ajustadas.

Na análise da distribuição gráfica dos resíduos, verificou-se que todas as equações apresentaram boa distribuição gráfica dos resíduos, aleatória ao longo do eixo das abscissas e sem denotar tendências claras de sub ou superestimativas (Figura 8).

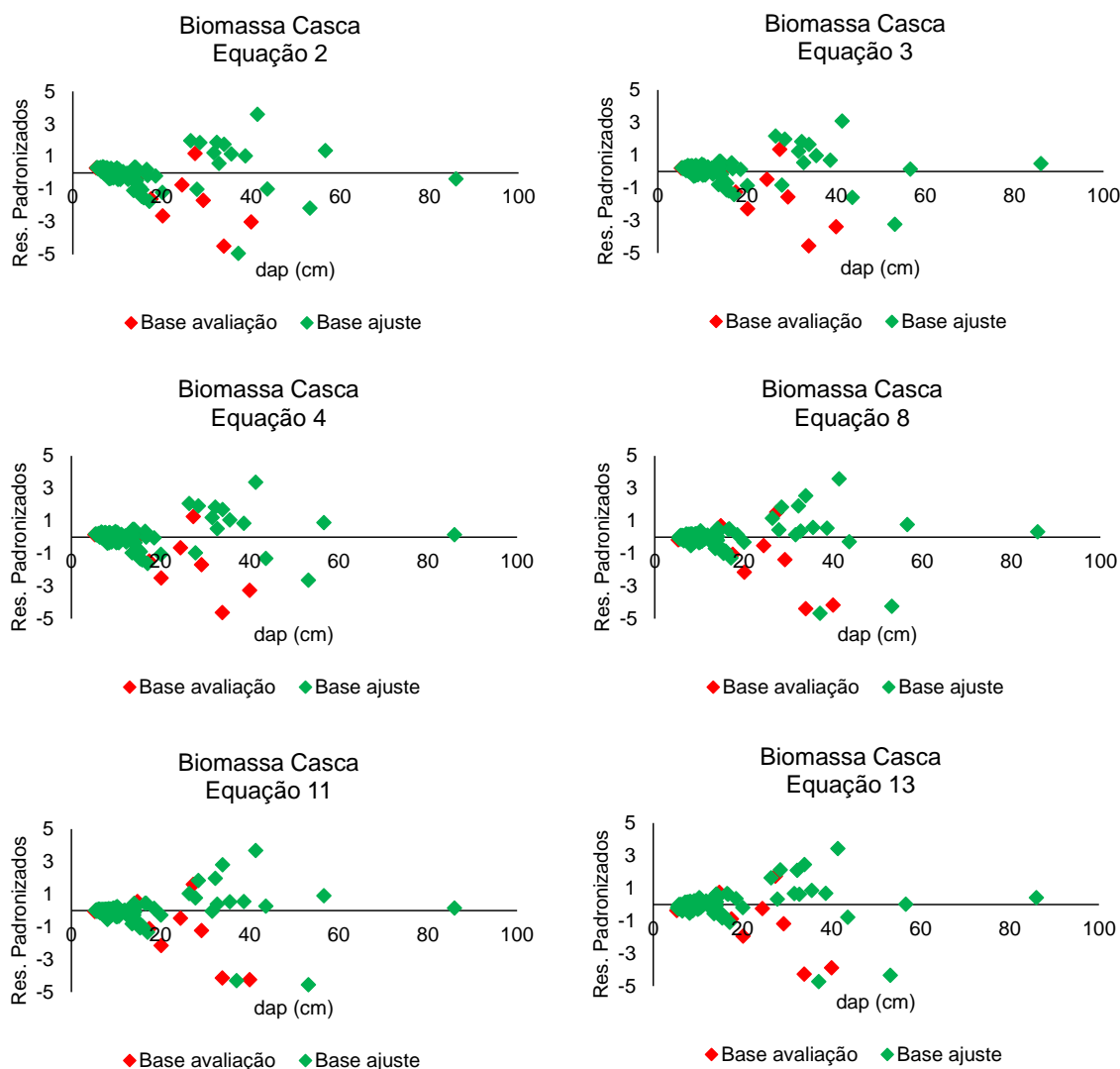


FIGURA 8 DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS DAS MELHORES EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA A ESTIMATIVA DA BIOMASSA DA CASCA

De uma maneira geral, os resíduos se mostraram maiores, em módulo, para árvores de maior porte, o que pode ser explicado pela formulação matemática dos modelos, na maioria deles exponenciais.

Da mesma forma que para a biomassa da casca, o ajuste das equações para o carbono desse compartimento forneceu equações com elevado coeficiente de determinação ajustado, acima de 0,92, mas o erro padrão da estimativa ficou acima de 66%, como pode ser observado na Tabela 13.

TABELA 13 ESTATÍSTICAS OBTIDAS PARA AS MELHORES EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA ESTIMATIVA DO CARBONO DA CASCA

EQUAÇÕES		R^2_{aj}	$S_{yx}\%$	F*
1	$C_{casca} = \exp(-5,61283 + 2,20719 \ln dap)$	0,925	74,44	1353,95
2	$C_{casca} = 1,46836 - 0,15644 dap + 0,01077 dap^2$	0,926	73,87	688,74
3	$C_{casca} = 0,09705 \exp dap^{0,42295}$	0,928	72,86	1418,26
8	$C_{casca} = -0,39116 + 0,00056 dap^2 + 0,00023 dap^2 h$ $+ 0,00026 dap h^2 + 0,00867 h^2$	0,939	66,93	567,58
12	$C_{casca} = 0,00213(dap^2 h)^{0,85227}$	0,935	68,95	1596,01
13	$C_{casca} = -5,26235 + \exp(1,20169 + 0,02375 dap$ $+ 0,04070 h)$	0,935	69,06	530,89

C_{casca} = carbono da casca; dap = diâmetro a 1,3 m de altura, h = altura total; \log = logaritmo na base 10; e \exp = função exponencial.

* ao nível de confiança de 95%.

O alto coeficiente de determinação, observado nas equações ajustadas, demonstra que elas descrevem bem o comportamento da variável dependente, o quantitativo de carbono na casca da árvore. No entanto, as estimativas geradas pelas equações podem apresentar baixa exatidão, explicada pelo alto erro padrão da estimativa, que pode estar relacionada com as características heterogêneas das espécies agrupadas na base de dados.

Equações com baixa exatidão nas estimativas do carbono da casca, na Floresta Ombrófila Mista Aluvial, também foram observados por Socher (2004), que ajustou a melhor equação com $R^2_{aj} = 0,4574$ e $S_{yx}\% = 78,20$, resultados inferiores, inclusive, aos do presente estudo. Ratuchne (2010), no ajuste de equações para o carbono da casca para Floresta Ombrófila Mista Montana, também observou alto erro padrão da estimativa nas equações, sendo que a melhor equação ajustada por esse autor apresentou $R^2_{aj} = 0,986$ e $S_{yx}\% = 64,06$.

Na distribuição gráfica dos resíduos, observou-se que as equações apresentaram distribuições semelhantes entre si (Figura 9).

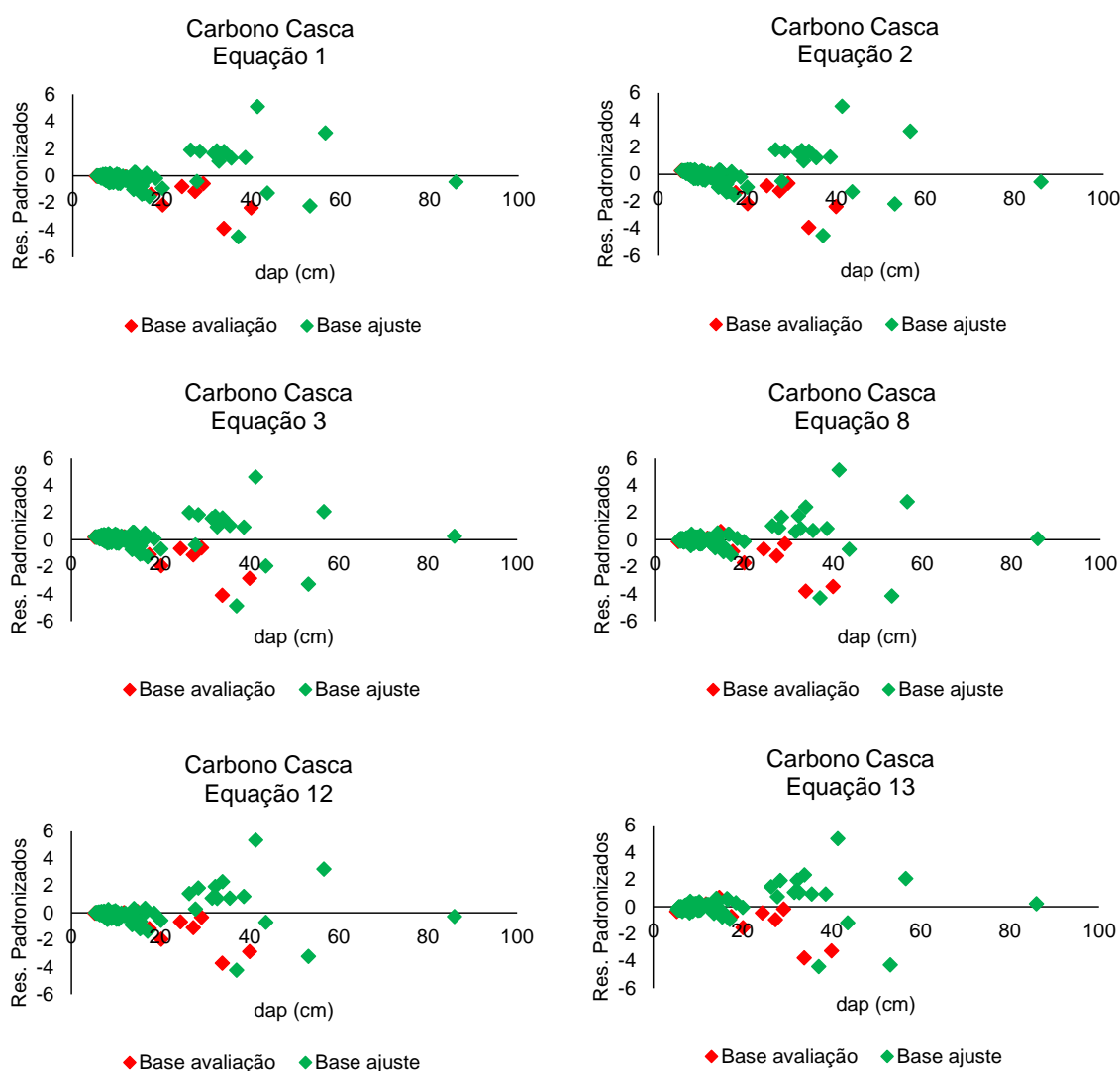


FIGURA 9 DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS DAS MELHORES EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA A ESTIMATIVA DO CARBONO DA CASCA

As equações ajustadas para a estimativa do carbono da casca não apresentaram tendências de sub ou superestimativa ao longo do intervalo analisado, com uma distribuição de resíduos aleatória ao longo do eixo das abscissas, o que é desejável.

Assim, as equações selecionadas para a estimativa da biomassa da casca foram a equação 4 ($B_{casca} = 0,00345 \, dap^{2,41711} + 1,84007 \log dap$), com R^2_{aj} de 0,932 e S_{yx} de 68,58%, e a equação 8 ($B_{casca} = -0,96909 + 0,00165 \, dap^2 + 0,00056 \, dap^2 h + 0,00054 \, dap \, h^2 + 0,02211 \, h^2$), com R^2_{aj} de 0,942 e S_{yx} de 63,54%.

Para o carbono da casca, as equações com melhores estatísticas foram a 3 ($C_{casca} = 0,09705 \exp dap^{0,42295}$), com R^2_{aj} de 0,928 e S_{yx} de 72,86%, e a equação 8 ($C_{casca} = -0,39116 + 0,00056 dap^2 + 0,00023 dap^2 h + 0,00026 dap h^2 + 0,00867 h^2$), com R^2_{aj} de 0,939 e S_{yx} de 66,93%.

4.3.4 Biomassa e Carbono dos Galhos

Assim como para a biomassa da casca, as equações ajustadas para a estimativa da biomassa dos galhos apresentaram equações com alto coeficiente de determinação ajustado, superior a 0,94, mas alto erro padrão da estimativa, superior a 94%, que indica bom ajuste com os dados, mas baixa exatidão nas estimativas. As equações e suas estatísticas de ajuste estão apresentadas na Tabela 14.

TABELA 14 ESTATÍSTICAS OBTIDAS PARA AS MELHORES EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA ESTIMATIVA DA BIOMASSA DOS GALHOS

EQUAÇÕES		R^2_{aj}	$S_{yx}\%$	F*
1	$B_{galhos} = \exp(-4,76611 + 2,82959 \ln dap)$	0,944	99,59	1902,23
3	$B_{galhos} = 1,25482 \exp dap^{0,45616}$	0,946	97,97	1969,38
4	$B_{galhos} = 0,00714 dap^{2,86884} + 4,11955 \log dap$	0,944	99,89	945,46
8	$B_{galhos} = 5,16785 - 0,04649 dap^2 + 0,01610 dap^2 h - 0,00351 dap h^2 - 0,06148 h^2$	0,945	98,65	485,93
12	$B_{galhos} = 0,00465(dap^2 h)^{1,08527}$	0,947	96,97	2012,40
13	$B_{galhos} = -103,81 + \exp(4,20699 + 0,03894 dap + 0,01291 h)$	0,950	94,10	715,25

B_{galhos} = biomassa dos galhos; dap = diâmetro a 1,3 m de altura, h = altura total; \log = logaritmo na base 10; \ln = logaritmo na base e; e \exp = função exponencial.

Baggio *et al.* (1995) ajustaram equações similares às do presente trabalho para estimar a biomassa dos galhos de bracatinga e obtiveram resultados mais satisfatórios, com coeficiente de determinação igual a 0,9988 e coeficiente de variação de 44,8%, assim como Urbano *et al.* (2008), também para bracatingas, que ajustou equações com R^2_{aj} de 0,907 e S_{yx} de 43,16%, para galhos maiores que 4 cm de diâmetro, e R^2_{aj} = 0,849 e S_{yx} = 36,01%, para galhos com diâmetro menor que 4 cm.

Cabe ressaltar que os resultados obtidos por Baggio *et al.* (1995) e Urbano *et al.* (2008) são para uma única espécie, a bracatinga (*Mimosa scabrella*), o que torna a equação menos abrangente e normalmente com melhores estatísticas de ajuste.

Avaliando a distribuição gráfica dos resíduos, não ficou evidente tendências de sub ou superestimativas. Os resíduos apresentaram uma distribuição aleatória ao longo do eixo do *dap*, como pode ser observado na Figura 10.

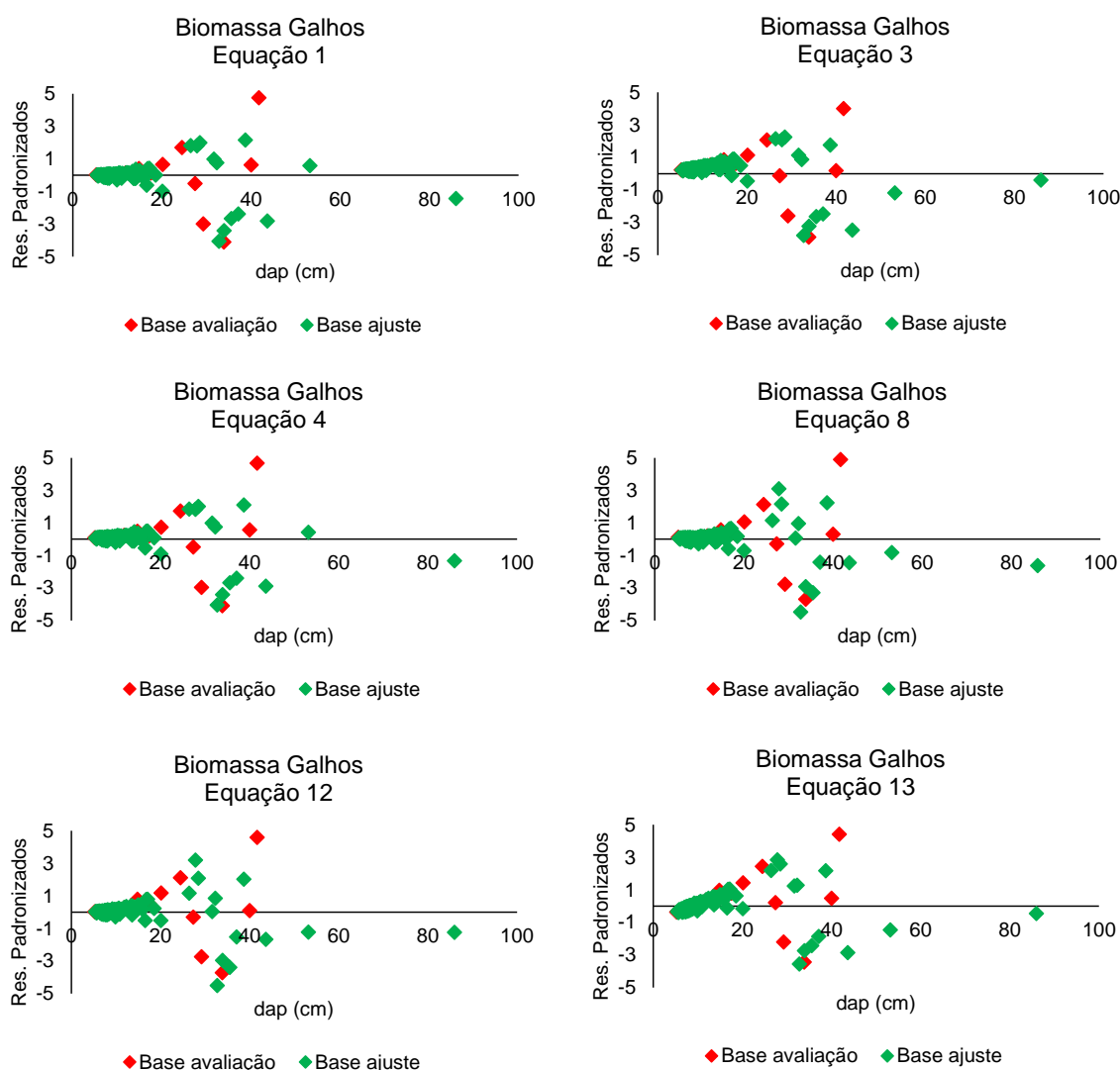


FIGURA 10 DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS DAS MELHORES EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA A ESTIMATIVA DA BIOMASSA DOS GALHOS

Socher (2004) ajustou equações para estimativa da biomassa dos galhos de uma Floresta Ombrófila Mista Aluvial e os resultados foram mais significativos que os do presente trabalho. Este autor ajustou uma equação com coeficiente de determinação ajustado igual a 0,94259 e erro padrão da estimativa de 43,84%, mas

não considerou os resultados satisfatórios. Ratuchne (2010), para a Floresta Ombrófila Mista Montana, ajustou a melhor equação para a biomassa dos galhos com $R^2_{aj} = 0,913$ e $S_{yx} = 70,53\%$, resultados similares aos do presente estudo.

Assim como para a biomassa, as equações ajustadas para a estimativa do carbono dos galhos apresentaram alto coeficiente de determinação, acima de 0,92, mas alto erro padrão da estimativa, acima de 102%, como pode ser observado na Tabela 15.

TABELA 15 ESTATÍSTICAS OBTIDAS PARA AS MELHORES EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA ESTIMATIVA DO CARBONO DOS GALHOS

EQUAÇÕES	R^2_{aj}	$S_{yx}\%$	F*
1 $C_{galhos} = \exp(-3,98042 + 2,38387 \ln dap)$	0,922	102,66	1315,92
2 $C_{galhos} = 8,48512 - 1,89578 dap + 0,12255 dap^2$	0,920	103,46	647,40
5 $C_{galhos} = 0,02664 \exp(-0,35517 + 0,63632 \ln dap + 0,38195 \ln dap^2 + 0,32788 \ln dap^3)$	0,919	104,07	320,09
8 $C_{galhos} = 1,60887 + 0,03385 dap^2 + 0,00127 dap^2 h + 0,00562 dap h^2 - 0,09350 h^2$	0,923	101,72	336,31
9 $\frac{C_{galhos}}{dap^2} = 0,02860 + 0,00288 h$	0,923	101,50	1348,64
11 $C_{galhos} = 0,01219 dap^{2,01403} h^{0,63702}$	0,923	101,88	669,44

C_{galhos} = carbono dos galhos; dap = diâmetro a 1,3 m de altura, h = altura total; \ln = logaritmo na base e; e \exp = função exponencial.

* ao nível de confiança de 95%.

Outros autores realizaram trabalhos de ajuste de equações para estimativa da biomassa arbórea. Urbano *et al.* (2008), que encontrou pelo método *forward* uma equação mais exata para a estimativa do carbono estocado nos galhos de bracatingas, com $R^2_{aj} = 0,916$ e $S_{yx} = 39,32\%$. Soares e Oliveira (2002) encontraram uma equação com R^2_{aj} similar ao encontrado no presente trabalho, 88,27, mas com $CV = 39,37\%$, significativamente menor, para estimativa do C dos galhos de eucalipto. Hoppe (2003), no ajuste de equações para a estimativa do C em plátanos, encontrou uma equação para os galhos com R^2_{aj} pouco menor que o do presente trabalho, 0,82, mas com erro padrão da estimativa menor, $S_{yx} = 17,1\%$, e considerou estes resultados significativos.

Ratuchne (2010), para a Floresta Ombrófila Mista Montana, ajustou equações com menor coeficiente de determinação, $R^2_{aj} = 0,876$, mas com menor erro padrão da estimativa, $S_{yx} = 68,90\%$, comparados aos deste trabalho, embora o nível de erro ainda seja elevado. Os resultados encontrados por estes e outros autores sugerem que as equações ajustadas para a estimativa do carbono estocado nos galhos tendem a apresentar melhores estatísticas de ajuste em trabalhos menos abrangentes, sobretudo para uma única espécie arbórea.

A Figura 11 apresenta a distribuição gráfica dos resíduos.

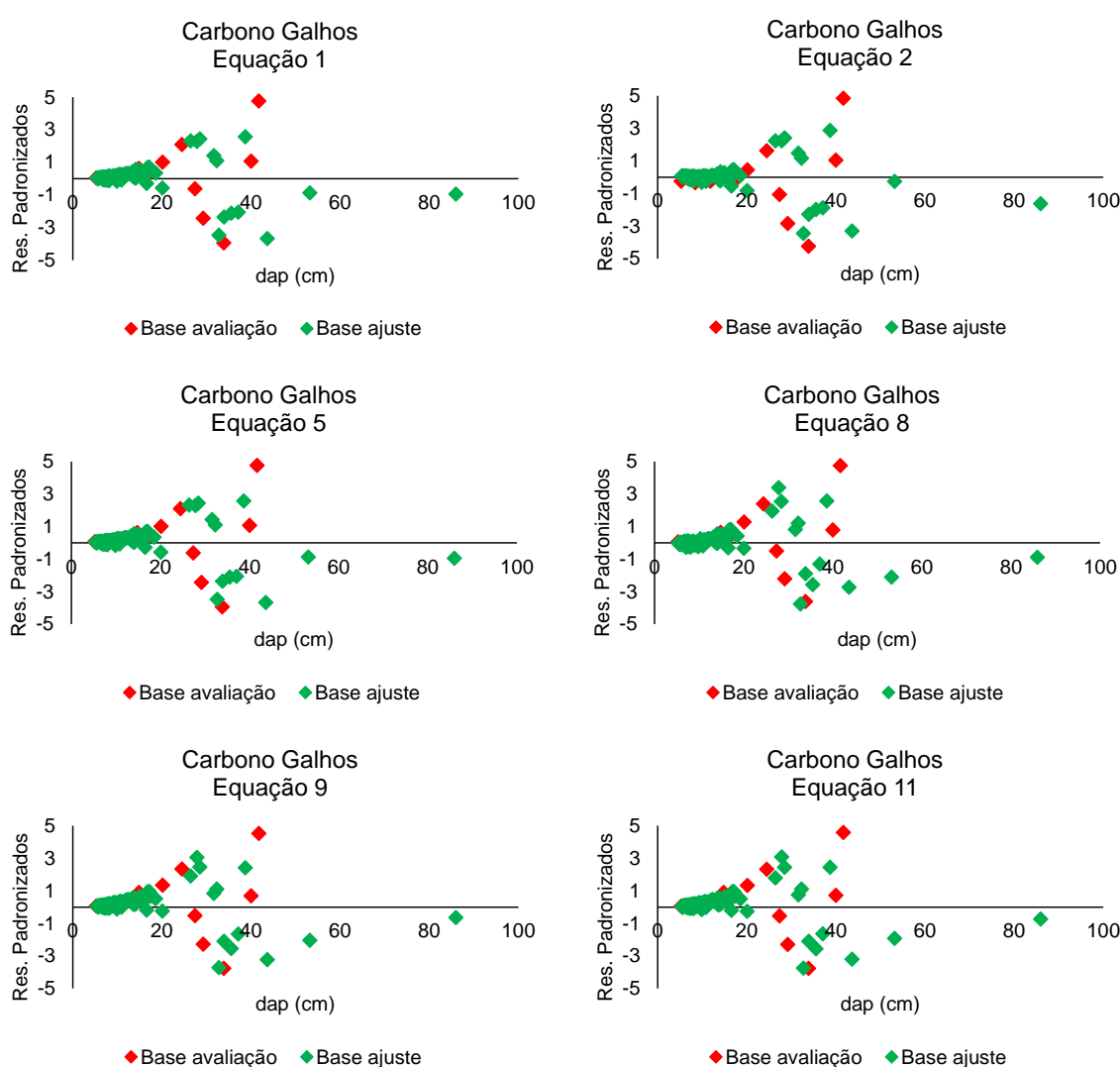


FIGURA 11 DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS DAS MELHORES EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA A ESTIMATIVA DO CARBONO DOS GALHOS

Na análise gráfica dos resíduos das equações para o carbono dos galhos, observou-se uma distribuição aleatória dos resíduos ao longo do eixo das abscissas, sem tendências claras de sub ou superestimativas para todas as equações. As distribuições de resíduos das seis equações se mostraram muito similares entre si.

Dessa forma, as equações com melhores estatísticas de ajuste para a estimativa da biomassa dos galhos foram a equação 3 ($B_{galhos} = 1,25482 \exp dap^{0,45616}$), com R^2_{aj} de 0,946 e S_{yx} de 97,97%, e a equação 13 ($B_{galhos} = -103,81 + \exp(4,20699 + 0,03894 dap + 0,01291 h)$), com R^2_{aj} de 0,950 e S_{yx} de 94,10%.

Para o carbono dos galhos, as equações com melhores estatísticas de ajuste foram a 1 ($C_{galhos} = \exp(-3,98042 + 2,38387 \ln dap)$), com R^2_{aj} de 0,922 e S_{yx} de 102,66%, e a equação 9 ($\frac{C_{galhos}}{dap^2} = 0,02860 + 0,00288 h$), com R^2_{aj} de 0,923 e S_{yx} de 101,50%.

4.3.5 Biomassa e Carbono da Folhagem

As equações ajustadas para a biomassa da folhagem se mostraram pouco ajustadas, com baixo coeficiente de determinação, inferior a 0,77, e alto erro padrão da estimativa, acima de 107%, como pode ser observado na Tabela 16.

TABELA 16 ESTATÍSTICAS OBTIDAS PARA AS MELHORES EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA ESTIMATIVA DA BIOMASSA DA FOLHAGEM

EQUAÇÕES	R^2_{aj}	$S_{yx}\%$	F*
1 $B_{folhagem} = \exp(-3,50135 + 1,67359 \ln dap)$	0,767	108,05	369,74
2 $B_{folhagem} = -0,98683 + 0,18916 dap + 0,00497 dap^2$	0,767	108,08	185,23
4 $B_{folhagem} = 0,03258 dap^{1,65637} - 0,08388 \log dap$	0,765	108,54	183,23
8 $B_{folhagem} = 0,36106 + 0,01078 dap^2 - 0,00022 dap^2 h + 0,00027 dap h^2 - 0,00142 h^2$	0,758	110,13	88,68
11 $B_{folhagem} = 0,04045 dap^{1,83703} h^{-0,31621}$	0,766	108,32	184,19
13 $B_{folhagem} = -17,84 + \exp(2,83227 + 0,01828 dap - 0,00561 h)$	0,768	107,92	124,31

$B_{folhagem}$ = biomassa da folhagem; dap = diâmetro a 1,3 m de altura, h = altura total; \log = logaritmo na base 10; \ln = logaritmo na base e; e \exp = função exponencial.

* ao nível de confiança de 95%.

Observou-se na literatura que o ajuste de equações para a estimativa da biomassa da folhagem dificilmente apresenta bons resultados, especialmente para espécies naturais. Socher (2004), em equações para a uma floresta Ombrófila Mista Aluvial, encontrou R^2_{aj} de 0,705 e S_{yx} de 62,79%, resultados que esse autor considerou insatisfatórios. Ratuchne (2010), na Floresta Ombrófila Mista Montana, também ajustou equações com baixo coeficiente de determinação, 0,791, e alto erro padrão da estimativa, 97,82%.

Valério *et al.* (2007) no ajuste de equações para estimar a biomassa da folhagem da uva do Japão (*Hovenia dulcis* Thumb.) encontram uma equação com R^2_{aj} de 0,907 e S_{yx} de 22,58%, resultado expressivamente bom, mas deve-se considerar que a equação foi ajustada para uma única espécie.

Páscoa *et al.* (2008) encontraram resultados menos expressivos no ajuste de equações para estimativa da biomassa da folhagem do pinheiro bravo, R^2_{aj} de 0,865, embora ainda melhores que o do presente trabalho, no entanto, também apenas para uma espécie.

Miranda (2008), ajustou equações para a biomassa da folhagem em áreas de restauração e considerou as equações insatisfatórias, com coeficiente de determinação de 0,6868 e erro padrão da estimativa de 81,71%. Segundo o autor, as baixas medidas de ajuste das equações para a biomassa da folhagem em florestas nativas podem ser explicadas pela grande abrangência da base de dados, composta por diversas espécies arbóreas e com características muito diversificadas.

Quanto a distribuição gráfica dos resíduos, as equações apresentaram os resíduos distribuídos aleatoriamente ao longo do eixo do *dap*, como pode ser observado na Figura 12. Essa forma de distribuição, além de indicar bom ajuste das equações, não mostra tendências de sub ou superestimativas para o intervalo de dados analisado.

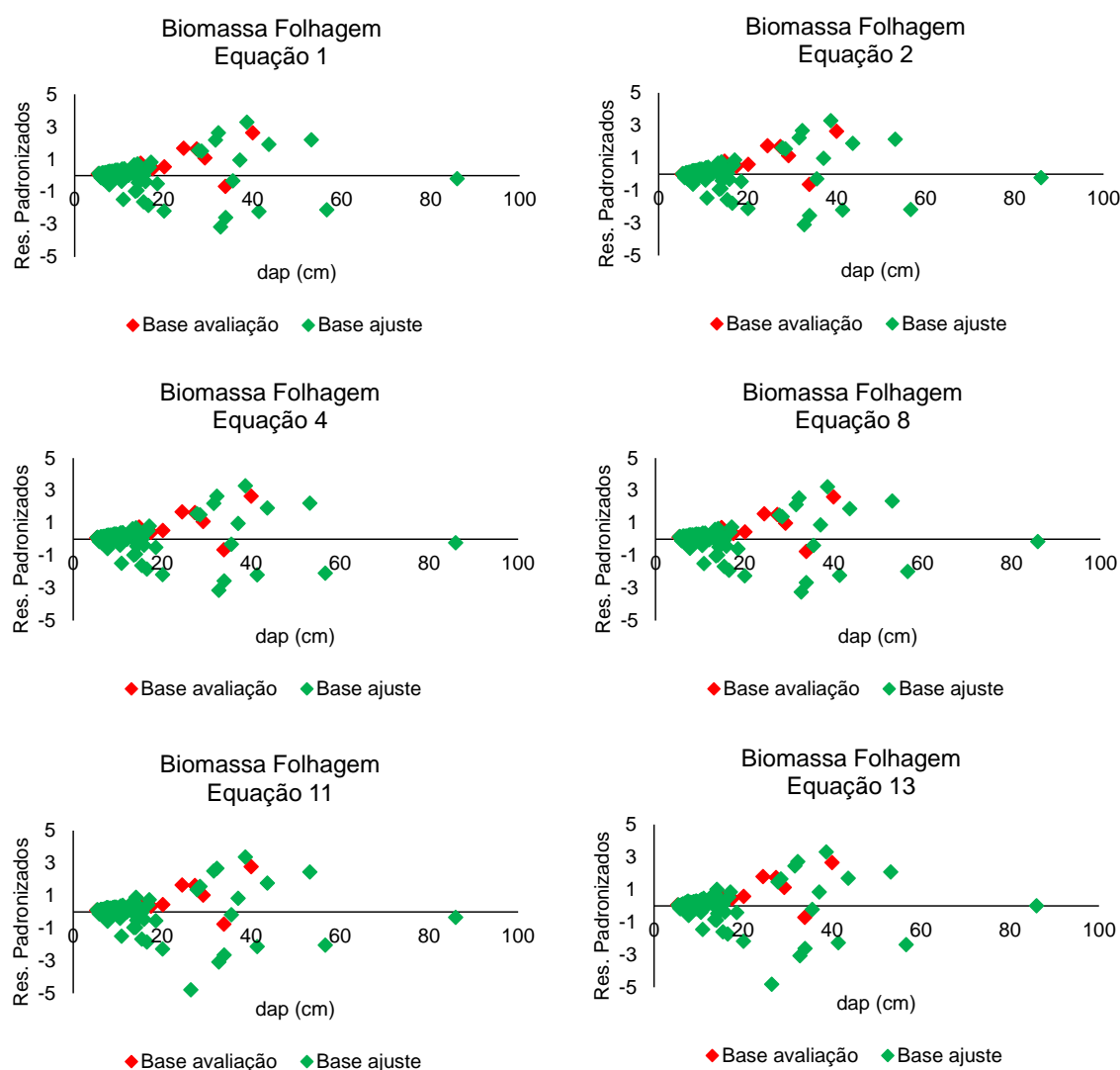


FIGURA 12 DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS DAS MELHORES EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA ESTIMATIVA DA BIOMASSA DA FOLHAGEM

Assim como para a biomassa da folhagem, o ajuste das equações para a estimativa do carbono da folhagem apresentou alto erro padrão da estimativa, acima de 101%. No entanto, as equações apresentaram coeficientes de determinação ligeiramente maiores, em torno de 0,8, o que sugere melhor ajuste aos dados, mas falta de exatidão nas estimativas. A Tabela 17 apresenta as melhores equações para o carbono da folhagem, juntamente com as estatísticas de ajuste.

TABELA 17 ESTATÍSTICAS OBTIDAS PARA AS MELHORES EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA ESTIMATIVA DO CARBONO DA FOLHAGEM

EQUAÇÕES		R^2_{aj}	$S_{yx}\%$	F^*
1	$C_{folhagem} = \exp(-4,68069 + 1,76025 \ln dap)$	0,802	101,30	455,14
2	$C_{folhagem} = -0,22052 + 0,05347 dap + 0,00261 dap^2$	0,802	101,26	228,25
4	$C_{folhagem} = 0,00669 dap^{1,83348} + 0,13657 \log dap$	0,801	101,64	226,15
11	$C_{folhagem} = 0,00997 dap^{1,80306} h^{-0,08103}$	0,800	101,74	225,60
12	$C_{folhagem} = 0,00462(dap^2 h)^{0,70293}$	0,797	102,56	441,25
13	$C_{folhagem} = -5,63340 + \exp(1,66799 + 0,02179 dap - 0,00555 h)$	0,805	100,61	154,95

$C_{folhagem}$ = carbono da folhagem; dap = diâmetro a 1,3 m de altura, h = altura total; \log = logaritmo na base 10; \ln = logaritmo na base e; e \exp = função exponencial.

* ao nível de confiança de 95%.

Foram observadas pequenas diferenças nas estatísticas R^2_{aj} e $S_{yx}\%$ entre as equações que apresentaram apenas a variável independente dap e as que apresentaram também a variável independente h , sugerindo que a altura da árvore pode ter pouca relação com o estoque de carbono fixado na folhagem.

Equações de baixa exatidão para estimativa do carbono da folhagem também foram observadas por outros autores, tais como Urbano *et al.* (2008) e Soares e Oliveira (2002). O primeiro autor ajustou equações para estimativa do carbono estocado na folhagem de bracatinga e as equações apresentaram $R^2_{aj} = 0,795$ e $S_{yx} = 42,57\%$. Este autor considerou as equações de baixa exatidão e atribuiu os resultados à baixa correlação das variáveis utilizadas nas equações, fato também observado no presente trabalho.

Soares e Oliveira (2002) ajustaram equações para a estimativa do carbono fixado em eucalipto e para a folhagem a equação apresentou $R^2 = 85,40\%$ e $CV = 57,33\%$. Os autores consideraram a equação ajustada de baixa exatidão e atribuíram os resultados ao fato de que fatores não alométricos afetam a quantidade de folhas nas árvores, como a estação do ano, a inclinação do terreno e o tamanho da copa. Em ambos os trabalhos, os autores não recomendaram a utilização das equações ajustadas, devido aos baixos níveis de exatidão nas estimativas.

Para um fragmento de Floresta Ombrófila Mista, Ratuchne (2010) ajustou equações similares às do presente trabalho e encontrou R^2_{aj} de 0,812 e S_{yx} de 89,12%, indicando que para equações abrangentes os ajustes tendem a fornecer equações com baixa exatidão nas estimativas.

Na análise da distribuição gráfica dos resíduos, verificou-se que os pontos não caracterizam tendências de sub ou superestimativas e que os resíduos ficaram distribuídos de forma aleatória, como pode ser observado na Figura 13.

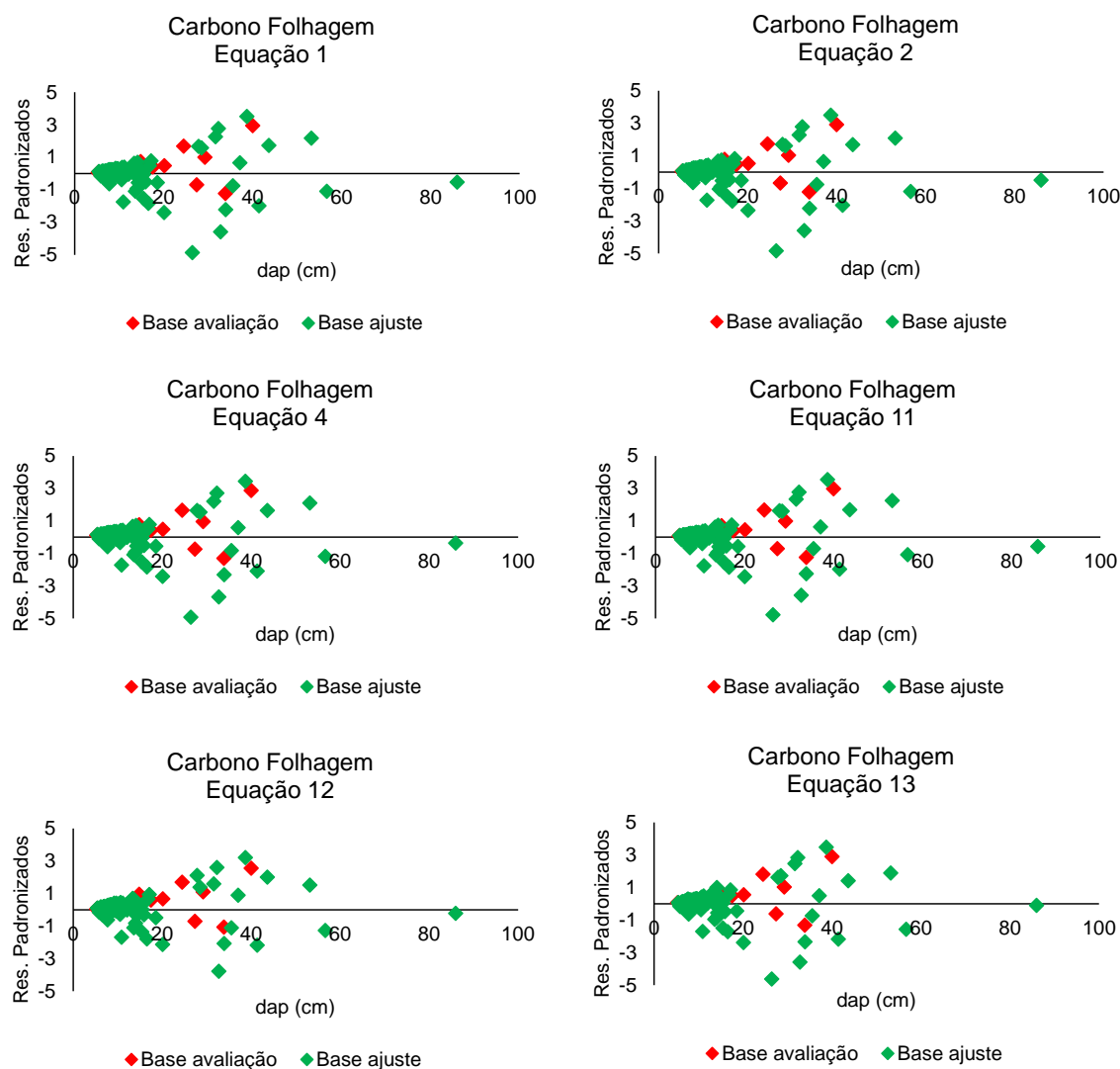


FIGURA 13 DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS DAS MELHORES EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA A ESTIMATIVA DO CARBONO DA FOLHAGEM

Assim, as equações para a estimativa da biomassa da folhagem com melhores estatísticas de ajuste foram a equação 1 ($B_{folhagem} = \exp(-3,50135 + 1,67359 \ln dap)$), com R^2_{aj} de 0,767 e S_{yx} de 108,05%, e a equação 13 ($B_{folhagem} = -17,84 + \exp(2,83227 + 0,01828 dap - 0,00561 h)$), com R^2_{aj} de 0,768 e S_{yx} de 107,92%.

Para o carbono da folhagem, as equações com melhores estatísticas de ajuste foram a 2 ($C_{folhagem} = -0,22052 + 0,05347 dap + 0,00261 dap^2$), com R^2_{aj} de 0,802 e S_{yx} de 101,26%, e a equação 13 ($C_{folhagem} = -5,63340 + \exp(1,66799 + 0,02179 dap - 0,00555 h)$), com R^2_{aj} de 0,805 e S_{yx} de 100,61%.

4.4 VALIDAÇÃO DAS EQUAÇÕES DE BIOMASSA E CARBONO

A base de dados utilizada para a validação das equações de biomassa e carbono, extraída do trabalho de Watzlawick (2003), apresenta estatísticas descritivas semelhantes a utilizada no ajuste das equações. A Tabela 18 caracteriza a base de dados utilizada na validação.

TABELA 18 ESTATÍSTICAS DA BASE DE DADOS DE VALIDAÇÃO

		MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA
DAP (cm)		5,41	81,96	20,00
ALTURA TOTAL (m)		6,40	23,31	12,24
CARBONO (kg)	AÉREA TOTAL	3,43	1499,58	94,42
	FUSTE	1,76	570,40	40,02
	CASCA	0,11	110,62	5,37
	FOLHAGEM	0,05	24,54	1,90
	GALHOS	0,95	884,29	46,90
BIOMASSA (kg)	AÉREA TOTAL	7,87	3841,73	282,26
	FUSTE	3,86	1407,13	117,31
	CASCA	0,29	486,33	25,96
	FOLHAGEM	0,12	165,01	8,27
	GALHOS	2,30	2533,89	142,45

FONTE: Watzlawick (2003).

A validação das equações ajustadas, utilizando uma base de dados testemunha, com dados que não participaram do ajuste das equações e que são oriundos de uma área experimental separada geograficamente das utilizadas para a amostragem da biomassa e do carbono, buscou validar as equações para utilização em outras áreas de Floresta Ombrófila Mista no estado do Paraná.

As equações validadas, o R^2_{aj} e o S_{yx} , recalculados com base nos dados de validação, e o coeficiente de comparação de estoque (CCE%), estão apresentados na Tabela 19.

TABELA 19 EQUAÇÕES DE BIOMASSA E CARBONO SELECIONADAS PARA A VALIDAÇÃO E SUAS ESTATÍSTICAS

	EQUAÇÕES	R^2_{aj}	$S_{yx}\%$	CCE (%)
4	$B_{total} = 0,03232 \text{ dap}^{2,64923} + 15,98866 \log \text{ dap}$	0,896	73,41	-3
13	$B_{total} = -237,79 + \exp(5,07159 + 0,03326 \text{ dap} + 0,01943 \text{ h})$	0,902	71,02	-2
1	$C_{total} = \exp(-3,12397 + 2,34367 \ln \text{ dap})$	0,909	62,95	-9
12	$C_{total} = 0,02469 (\text{dap}^2 \text{ h})^{0,90544}$	0,920	58,92	-9
4	$B_{fuste} = 0,03140 \text{ dap}^{2,42003} + 10,6244 \log \text{ dap}$	0,894	65,17	-2
8	$B_{fuste} = -8,28841 + 0,0524 \text{ dap}^2 + 0,00635 \text{ dap}^2 \text{ h} - 0,00340 \text{ dap} \text{ h}^2 + 0,17889 \text{ h}^2$	0,920	56,60	-5
4	$C_{fuste} = 0,01268 \text{ dap}^{2,4238} + 4,6937 \log \text{ dap}$	0,927	52,63	-2
8	$C_{fuste} = -3,87066 + 0,02281 \text{ dap}^2 + 0,00276 \text{ dap}^2 \text{ h} - 0,0022 \text{ dap} \text{ h}^2 + 0,08611 \text{ h}^2$	0,937	48,72	-3
4	$B_{casca} = 0,00345 \text{ dap}^{2,41711} + 1,84007 \log \text{ dap}$	0,185	242,37	-46
8	$B_{casca} = -0,96909 + 0,00165 \text{ dap}^2 + 0,00056 \text{ dap}^2 \text{ h} + 0,00054 \text{ dap} \text{ h}^2 + 0,02211 \text{ h}^2$	0,191	241,53	-49
3	$C_{casca} = 0,09705 \exp \text{ dap}^{0,42295}$	0,026	253,46	-11
8	$C_{casca} = -0,39116 + 0,00056 \text{ dap}^2 + 0,00023 \text{ dap}^2 \text{ h} + 0,00026 \text{ dap} \text{ h}^2 + 0,00867 \text{ h}^2$	0,017	252,18	-16
3	$B_{galhos} = 1,25482 \exp \text{ dap}^{0,45616}$	0,859	105,35	+5
13	$B_{galhos} = -103,81 + \exp(4,20699 + 0,03894 \text{ dap} + 0,01291 \text{ h})$	0,845	110,33	+2
1	$C_{galhos} = \exp(-3,98042 + 2,38387 \ln \text{ dap})$	0,829	100,55	-10
9	$\frac{C_{galhos}}{\text{dap}^2} = 0,02860 + 0,00288 \text{ h}$	0,833	99,42	-10
1	$B_{folhagem} = \exp(-3,50135 + 1,67359 \ln \text{ dap})$	0,374	185,84	-21
13	$B_{folhagem} = -17,84 + \exp(2,83227 + 0,01828 \text{ dap} - 0,00561 \text{ h})$	0,350	189,30	-18
2	$C_{folhagem} = -0,22052 + 0,05347 \text{ dap} + 0,00261 \text{ dap}^2$	0,036	170,40	+25
13	$C_{folhagem} = -5,63340 + \exp(1,66799 + 0,02179 \text{ dap} - 0,00555 \text{ h})$	0,078	173,79	+27

B_{total} = biomassa total; C_{total} = carbono total; B_{fuste} = biomassa do fuste; C_{fuste} = carbono do fuste; B_{casca} = biomassa da casca; C_{casca} = carbono da casca; B_{galhos} = biomassa dos galhos; C_{galhos} = carbono dos galhos; $B_{folhagem}$ = biomassa das folhas; $C_{folhagem}$ = carbono das folhas; dap = diâmetro a 1,3 m de altura, h = altura total; \log = logaritmo na base 10; \ln = logaritmo na base e; \exp = função exponencial, CCE = coeficiente de comparação do estoque.

Analisando os dados apresentados na Tabela 19, observa-se que as estatísticas R^2_{aj} e S_{yx} , recalculadas para os dados da base de validação, e o CCE, que representa a relação entre o estoque estimado e o estoque observado da base de dados, apresentam boa correlação entre si. Ou seja, as equações que apresentam R^2_{aj} próximo de 1 também apresentam menores níveis de S_{yx} e também a relação CCE mais próxima de 0.

As equações de biomassa e carbono para a árvore total e para o fuste apresentaram R^2_{aj} em torno de 0,9 e o CCE mais próximos de 0, embora o S_{yx} tenha ficado acima de 48%. Isso indica que, para essas equações, houve um bom ajuste aos dados, mas os erros nas estimativas para a árvore individual podem ser elevados. No entanto, para o conjunto total de dados, o somatório das estimativas das árvores individuais produziu uma estimativa de estoque muito próxima do real, indicando que para o conjunto de dados, houve uma compensação dos resíduos das estimativas.

Silveira *et al.* (2008) ressaltam que as incertezas sobre a confiabilidade das estimativas das equações alométricas aumentam com a extrapolação, uma vez que diferentes ambientes são dominados por diferentes espécies, consequentemente as relações alométricas também são diferentes. No entanto, existe uma necessidade de obtenção de equações mais abrangentes, que permitam a utilização em áreas com condições semelhantes, mas com níveis de exatidão das estimativas mensuráveis.

As equações para a biomassa e o carbono dos galhos apresentaram resultados intermediários nas estatísticas da validação. Com R^2_{aj} em torno 0,84, mas S_{yx} em torno de 100%. O CCE indicou que para a biomassa as equações superestimaram o estoque em 5 e 2% e para o carbono subestimaram em 10% o estoque da base de dados. Ou seja, embora para as árvores individuais as equações tenham apresentado alto S_{yx} , o somatório das estimativas para o conjunto de dados apresentou um resultado muito próximo do real.

Para a biomassa e o carbono da casca e folhagem, as equações apresentaram baixo nível de ajuste aos dados, representado pelo baixo R^2_{aj} . Esse ajuste pobre refletiu no alto erro padrão da estimativa, que ficou acima de 240% para a casca e acima de 170% para a folhagem. A comparação do estoque estimado com o observado, fornecida pelo CCE, mostrou que houve grande diferença entre eles, indicando que as equações forneceram estimativas de baixa exatidão.

Na distribuição gráfica dos resíduos das equações de biomassa e carbono total e do fuste, foram observados resíduos relativamente pequenos, em módulo, nas

árvores com *dap* inferior a 30 cm. Já para as árvores de maior porte, com *dap* superior a 30 cm, os resíduos se mostraram maiores, em módulo (Figuras 14 e 15).

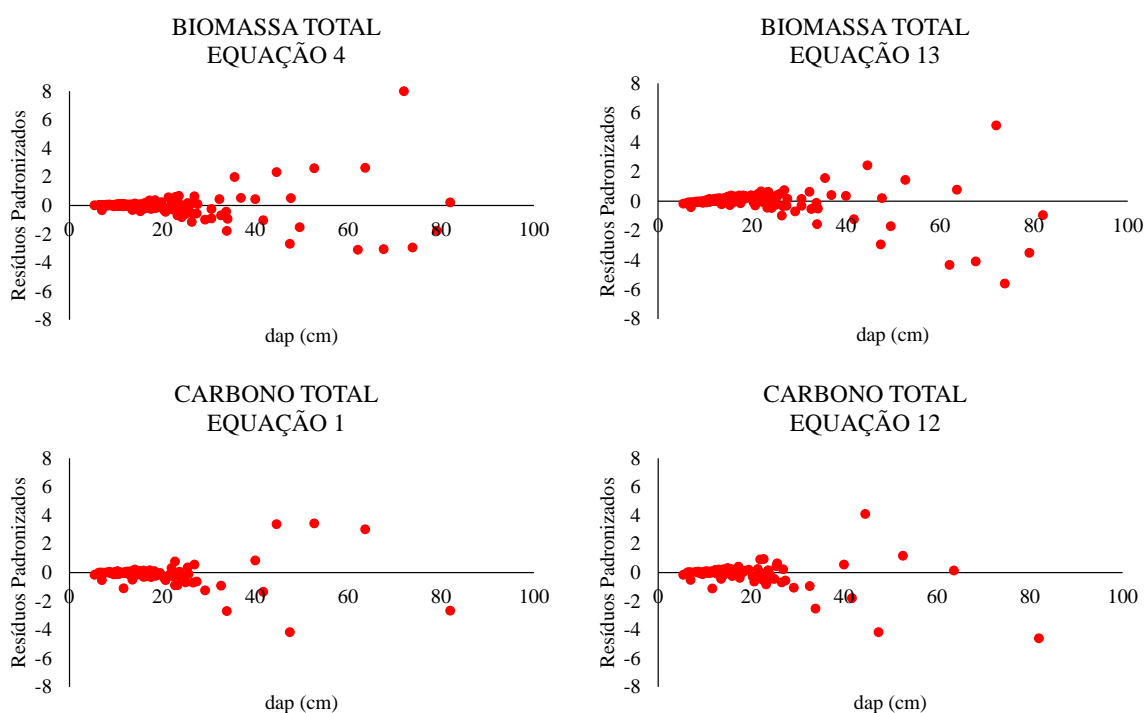


FIGURA 14 DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS DA VALIDAÇÃO DAS EQUAÇÕES PARA A BIOMASSA E O CARBONO AÉREO TOTAL

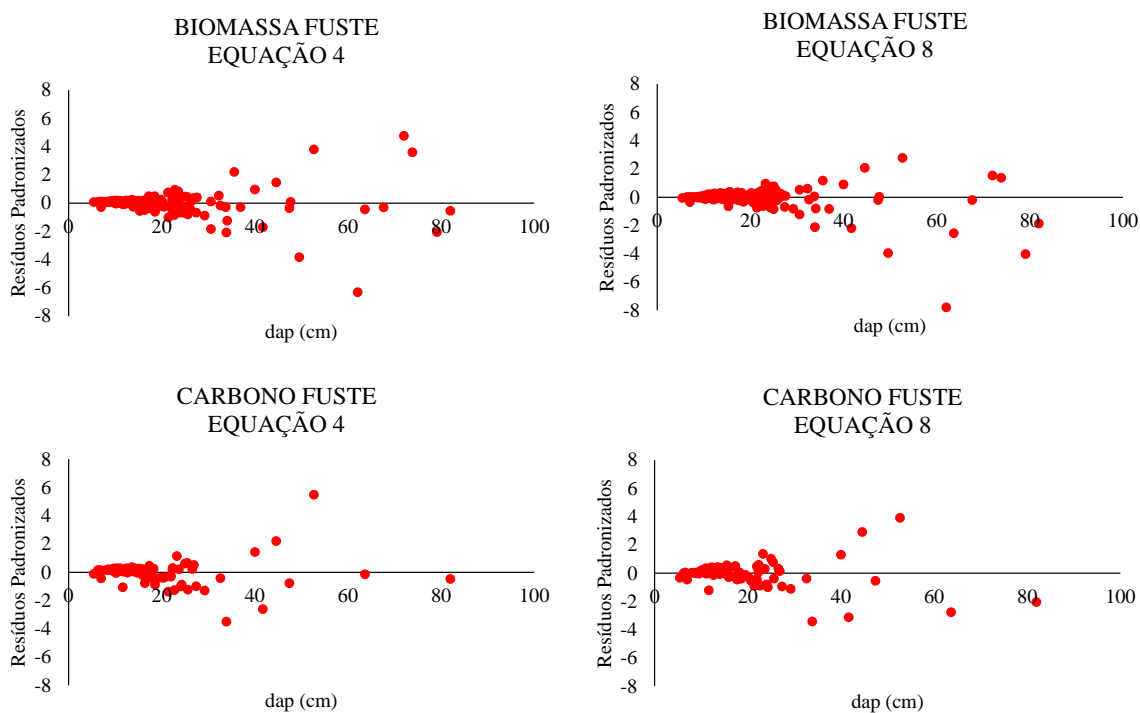


FIGURA 15 DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS DA VALIDAÇÃO DAS EQUAÇÕES PARA A BIOMASSA E O CARBONO DO FUSTE

O aumento da amplitude dos resíduos para árvores com maiores *dap* também foi observado por Silveira (2008), no ajuste de equações de biomassa para a Floresta Ombrófila Densa. Esse autor considerou o comportamento normal, principalmente para equações exponenciais. Dessa forma, o comportamento dos resíduos pode ser considerado dentro dos padrões esperados, ou seja, aleatório ao longo do eixo das abscissas, não indicando tendências de sub ou superestimativas.

Comparativamente, para a biomassa e carbono total e do fuste, as equações formadas apenas pelo *dap* com aquelas que incluíam a altura total, o desempenho foi similar, tanto na distribuição gráfica dos resíduos, como nas estatísticas das equações.

Para a biomassa total, foi observado CCE = -3 para a equação 4 e para a equação 13 o CCE = -2. Ou seja, a equação 4 subestimou a biomassa total da base de dados em 3% e a equação 13 em 2%, indicando um excelente desempenho na estimativa de ambas as equações. A pequena diferença no desempenho entre elas sugere que a equação 4, formada apenas pela variável independente *dap*, tem vantagem na aplicação prática, já que dispensa o conhecimento da variável altura.

Da mesma forma, para o carbono total e para a biomassa e carbono do fuste, são preferíveis as equações formadas apenas pela variável independente *dap*, pois o desempenho foi similar, e em alguns casos superior, que as equações que incluíam a altura total na sua formulação. Para a biomassa do fuste, as equações 4 e 8 subestimaram em apenas 2% e 5%, respectivamente, a biomassa das árvores da base de dados. Para o carbono do fuste, as equações 4 e 8 subestimaram em 2% e 3%, respectivamente, o carbono das árvores da base de dados.

Para a biomassa e o carbono da casca, graficamente os resíduos da validação se mostraram de menor amplitude para as árvores com *dap* inferior a 30 cm. No entanto, para a biomassa desse compartimento foi observada uma tendência acentuada de subestimativa para árvores com *dap* superior a 30 cm, como pode ser observado na Figura 16. Quanto à exatidão das estimativas, o desempenho das equações ficou inferior ao compartimento fuste e à árvore total. Para a biomassa da casca, as equações 4 e 8 subestimaram em 46% e 49%, respectivamente, a biomassa das árvores da base de dados. E, para o carbono da casca, o desempenho foi melhor que para a biomassa desse compartimento, mas insatisfatório da mesma forma, com 11% e 16% de subestimativa para as equações 3 e 8, respectivamente.

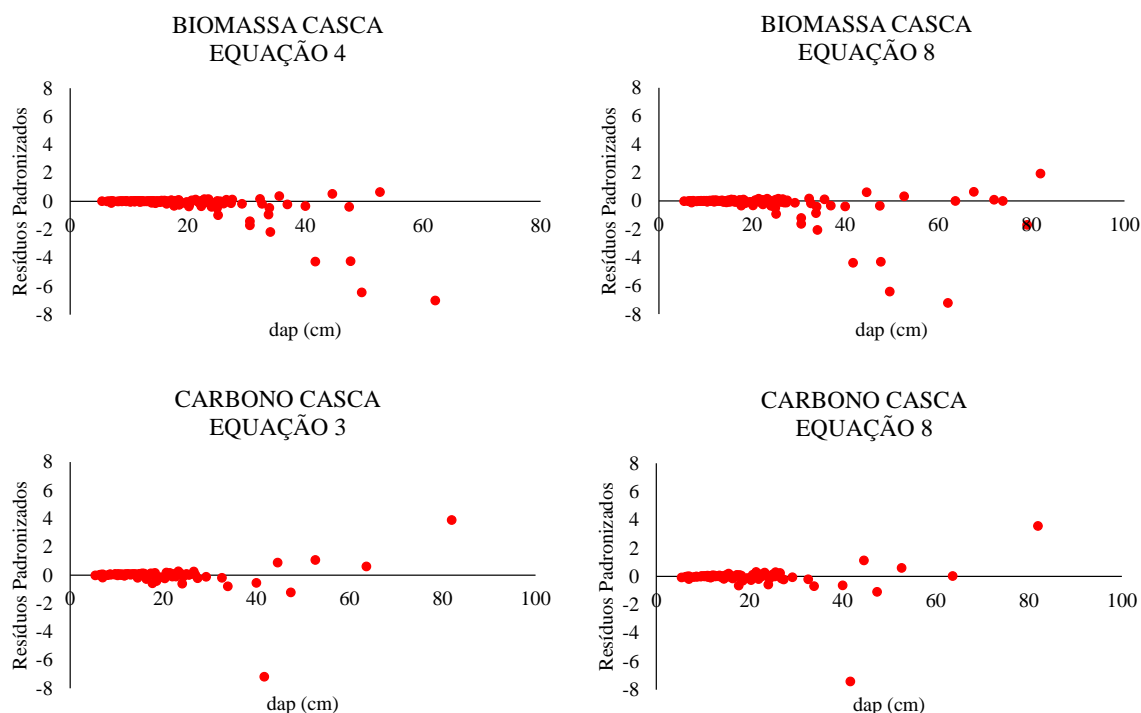


FIGURA 16 DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS DA VALIDAÇÃO DAS EQUAÇÕES PARA A BIOMASSA E O CARBONO DA CASCA

Para a biomassa e o carbono dos galhos, os resíduos da validação ficaram graficamente distribuídos aleatoriamente ao longo das abscissas (Figura 17).

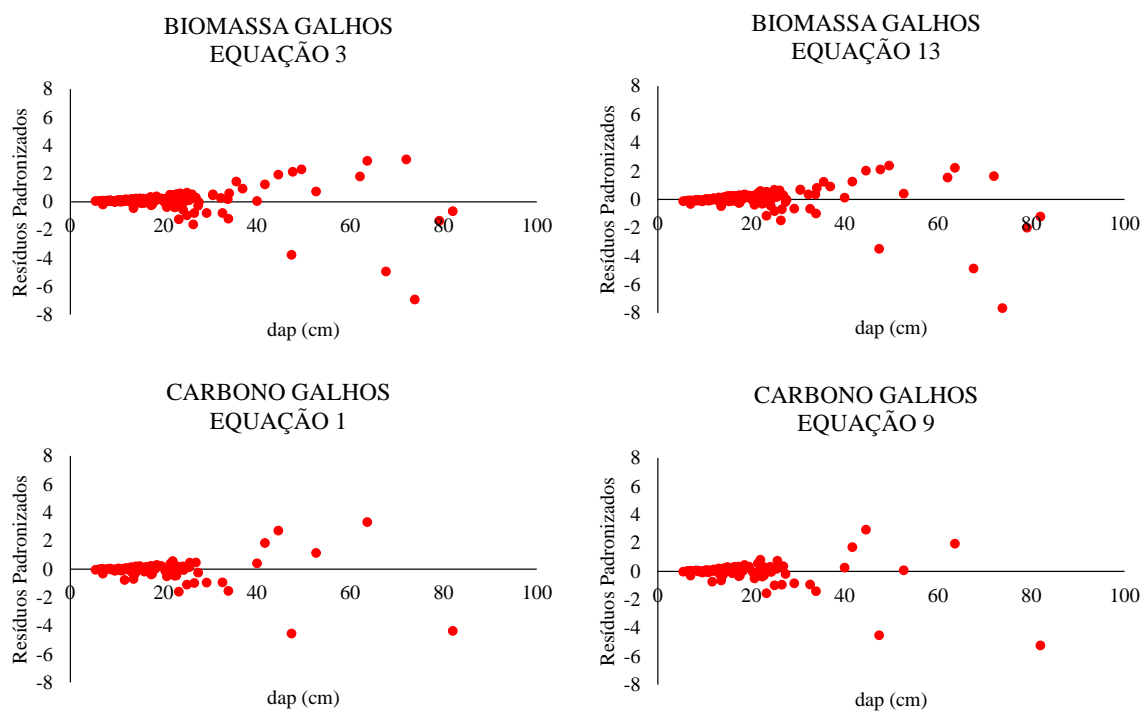


FIGURA 17 DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS DA VALIDAÇÃO DAS EQUAÇÕES PARA A BIOMASSA E O CARBONO DOS GALHOS

Não foram observadas tendências de sub ou superestimativas evidentes, mas com menor amplitude de resíduos para árvores de menor porte. Quanto ao desempenho nas estimativas, para a biomassa dos galhos houve uma superestimativa pelas equações 3 e 13, sendo 5% e 2%, respectivamente. Já para o carbono dos galhos, houve uma subestimativa de 10% para ambas as equações 1 e 9. Pode-se considerar que o desempenho das equações foi satisfatório, principalmente para a biomassa, que apresentou menor nível de erro na estimativa do estoque.

Na validação das equações de biomassa e carbono da folhagem, observou-se que graficamente os resíduos se comportaram de forma contrária para biomassa e para o carbono, como pode ser observado na Figura 18.

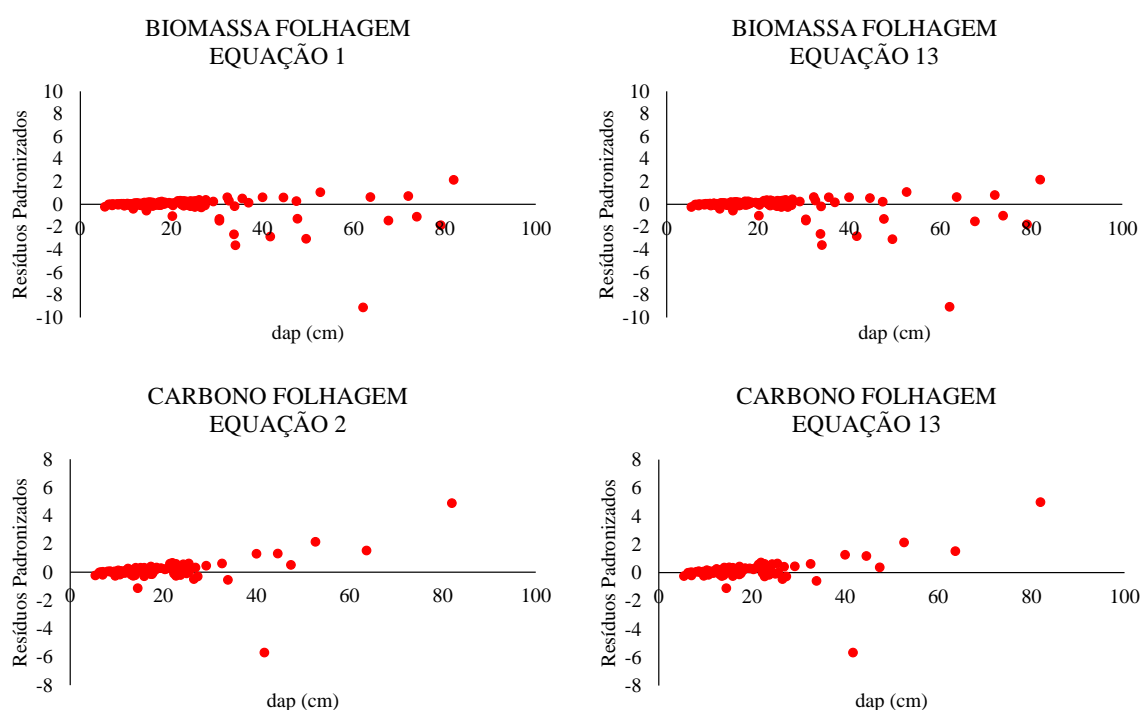


FIGURA 18 DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS DA VALIDAÇÃO DAS EQUAÇÕES PARA A BIOMASSA E O CARBONO DA FOLHAGEM

Para a biomassa verificou-se uma tendência de subestimativa e para o carbono, superestimativa. Esse comportamento também foi observado na estimativa do estoque da base de dados, que na comparação com o estoque real apresentou CCE de -21 e -18 para as equações de biomassa da folhagem 1 e 13, respectivamente, indicando que o quantitativo estimado foi 21% e 18% inferior ao real. Para o carbono da folhagem, houve superestimativa por parte das equações 2 e 13,

em 25% e 27%, respectivamente, pois o CCE calculado foi de 25% e 27%. Essa baixa exatidão nas estimativas de biomassa e carbono da folhagem, utilizando as equações ajustadas, indica que o nível de erro é elevado não só para árvores individuais, mas também para o somatório em uma base de dados, diferentemente do comportamento para outros compartimentos, como o fuste e os galhos.

De uma maneira geral, a validação das equações de biomassa e carbono para a Floresta Ombrófila Mista, ajustadas utilizando dados de quatro áreas experimentais localizadas nos municípios de Boa Ventura de São Roque, Castro, Coronel Vivida e Reserva do Iguaçu, ambos no estado do Paraná, e validadas utilizando uma base de dados amostrada em uma área experimental localizada no município de General Carneiro, estado do Paraná, mostrou que as equações ajustadas no presente estudo são passíveis de utilização em outras áreas de abrangência da Floresta Ombrófila Mista.

Além disso, o desempenho similar das equações de biomassa e carbono formadas apenas pela variável independente *dap* e das formadas pelo *dap* e *h*, observado no momento do ajuste das equações, foi novamente observado no momento da validação, sugerindo que para áreas onde não se conhece a variável altura total, pode-se utilizar equações de biomassa e carbono formadas apenas pela variável *dap*, sem ressalvas.

4.5 DINÂMICA DO ESTOQUE DE BIOMASSA E CARBONO FLORESTAL

É esperado que as florestas naturais em estágio secundário de sucessão apresentem crescimento, seja em incremento de *dap*, altura ou número de indivíduos. Para os fragmentos florestais em estudo, por se tratarem de áreas com distintos históricos de usos, localização geográfica e topografia, as características florestais de cada fragmento se mostraram muito diferentes entre si.

Os dados absolutos de ingresso e mortalidade, para o período de 2007 a 2012 de cada área estudada, evidenciam grandes diferenças na dinâmica desses fragmentos. No entanto, quando analisados relativamente, observa-se que tais dados apresentam similaridade entre si, como pode ser observado na Tabela 20.

TABELA 20 MORTALIDADE, INGRESSO E SUBTRAÇÃO DE INDIVÍDUOS NAS ÁREAS EM ESTUDO NO PERÍODO DE 2007 A 2012

UNIDADE	MORTALIDADE		INGRESSO		SUBTRAÇÃO	
	(ind.ha ⁻¹)	%	(ind.ha ⁻¹)	%	(ind.ha ⁻¹)	%
Boa Ventura de São Roque	212	7,88	192	7,13	56	2,08
Coronel Vivida	92	6,13	122	8,13	66	4,40
Castro	170	5,08	204	6,10	66	1,97
Reserva do Iguaçu	213	6,78	190	6,05	58	1,85
MÉDIA	172	6,47	177	6,85	62	2,58

As áreas que apresentam maior número de indivíduos que morreram ou ingressaram, também apresentavam maior densidade inicial de indivíduos, o que tornou os números relativos similares entre as áreas estudadas.

No ano de 2009, houve uma expressiva subtração de indivíduos em todas as áreas estudadas, para as determinações de biomassa e carbono. No entanto, observou-se aumento da área basal em todas elas, com redução da densidade de indivíduos, que foi acentuada pelas subtrações em decorrência da amostragem de biomassa e carbono (Tabela 21).

TABELA 21 ÁREA BASAL E DENSIDADE ABSOLUTA DAS ÁREAS EM ESTUDO NOS ANOS DE 2007 E 2012

UNIDADE	ÁREA BASAL (m ² .ha ⁻¹)		DENSIDADE ABSOLUTA (ind.ha ⁻¹)	
	2007	2012	2007	2012
Boa Ventura de São Roque	30,93	36,83	2692	2616
Coronel Vivida	24,39	26,07	1500	1464
Castro	36,68	42,30	3344	3312
Reserva do Iguaçu	27,27	31,64	3142	3060
MÉDIA	29,82	34,21	2669	2613

O incremento de área basal foi observado em todas as áreas, passando, em média, de 29,82 para 34,21 m².ha⁻¹. A área basal observada é similar a encontrada por Mognon (2011), em trabalho com um Fragmento de Floresta Ombrófila Mista em General Carneiro, estado do Paraná, que encontrou 33,94 m².ha⁻¹ para um fragmento em estágio médio de sucessão. No ano de 2007, a menor área basal foi observada na unidade de Coronel Vivida, com 24,39 m².ha⁻¹, o que se repetiu no ano de 2012,

passando a $26,07 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$. Já a maior área basal foi observada na unidade de Castro, passando de $36,68 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ no ano de 2007 para $42,30 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ no ano de 2012.

Ao contrário da área basal, que apresentou incremento, a densidade absoluta apresentou redução em todas as áreas estudadas, basicamente motivada pela subtração de indivíduos para as determinações de biomassa e carbono. A densidade absoluta média das áreas estudadas passou de $2669 \text{ ind}.\text{ha}^{-1}$ em 2007 para $2613 \text{ ind}.\text{ha}^{-1}$ no ano de 2012. Essa redução do número de indivíduos, mas com aumento da área basal, indica que houve um significativo aumento do porte das árvores, podendo representar significativas taxas de incremento de biomassa e carbono florestal.

A Tabela 19 apresenta os estoques de biomassa e carbono estimados nas áreas do estudo, nos anos de 2007 e 2012.

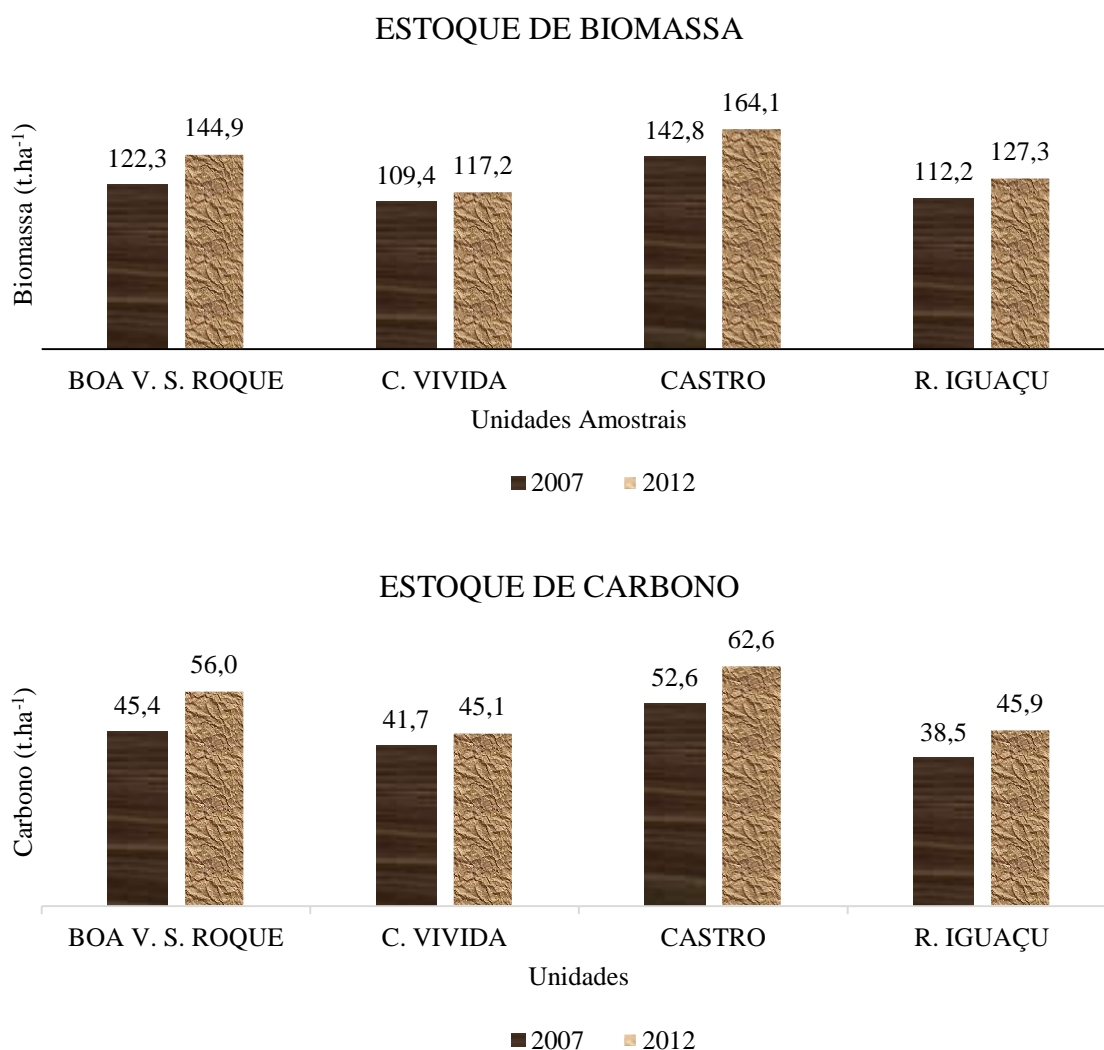


FIGURA 19 ESTOQUES DE BIOMASSA E CARBONO AÉREO DAS ÁREAS EM ESTUDO NOS ANOS DE 2007 E 2012

Os estoques de biomassa e carbono florestal das áreas foram estimados utilizando a equação $C = \exp(-3,12397 + 2,34367 \ln dap)$, para o carbono aéreo total, e a equação $B = 0,03232 dap^{2,64923} + 15,98866 \log dap$, para a biomassa aérea total. Estas equações foram consideradas as melhores ajustadas, formadas apenas pela variável independente *dap*, para as áreas do presente estudo.

Foram observados incrementos nos estoques de biomassa e carbono em todas as unidades experimentais analisadas. Para o ano de 2007, o menor estoque de biomassa arbórea foi observado na área experimental de Coronel vivida, com 109,4 t.ha⁻¹. Para o carbono, a área experimental de Reserva do Iguaçu apresentou o menor estoque, com 38,5 t.ha⁻¹. Os maiores estoques naquele ano foram observados na área de Castro, tanto para a biomassa, com 142,8 t.ha⁻¹, quanto para o carbono, com 62,6 t.ha⁻¹.

Para o ano de 2012, a área de Coronel Vivida apresentou o menor estoque de biomassa e carbono florestal, estimados em 117,2 t.ha⁻¹ e 45,1 t.ha⁻¹, respectivamente. Os maiores estoques estimados para aquele ano foram observados em Castro, com 164,1 t.ha⁻¹ de biomassa e 62,6 t.ha⁻¹ de carbono.

A grande variação nas quantidades de biomassa e carbono estimados nas áreas em estudo se deve às questões relacionadas ao solo, topografia, constituição da floresta e estágio de sucessão. Como as equações de biomassa e carbono são formadas apenas pela variável independente *dap*, o aumento da área basal foi um bom indicador do incremento de biomassa e carbono.

Watzlawick (2003), em trabalhos de quantificação de biomassa e carbono florestal em uma Floresta Ombrófila Mista no município de General Carneiro, estado do Paraná, estimou estoques de carbono acima do solo, sendo, respectivamente, 28,84 t.ha⁻¹, 70,23 t.ha⁻¹ e 165,02 t.ha⁻¹ para os estágios inicial, médio e avançado de sucessão. O autor ressaltou a variação dos estoques de carbono florestal nos dos diferentes estágios sucessionais das parcelas estudadas.

Mognon (2011) em trabalho de quantificação de carbono florestal em uma Floresta Ombrófila Mista Montana no estado do Paraná, em estágio médio de sucessão, estimou o estoque de carbono acima do solo em 74,07 t.ha⁻¹, no ano de 2009. Weber *et al.* (2005), em uma Floresta Ombrófila Mista em estágio avançado de sucessão, no município de São João do Triunfo, estado do Paraná, estimaram o estoque de carbono florestal em 97,648 t.ha⁻¹, no ano de 1997.

Quanto ao incremento no estoque de biomassa e carbono florestal das áreas do presente estudo, no período de 5 anos (2007 a 2012), a área que apresentou o menor incremento de biomassa e carbono foi a de Coronel Vivida, com 7,81 t.ha⁻¹ de biomassa e 3,37 t.ha⁻¹ de carbono, para o período de 5 anos, e anualmente de 1,56 t.ha⁻¹.ano⁻¹ de biomassa e 0,67 t.ha⁻¹.ano⁻¹ de carbono.

Os maiores incrementos de biomassa e carbono foram observados na área de Boa Ventura de São Roque, com 22,53 t.ha⁻¹ de biomassa e 10,62 t.ha⁻¹ de carbono, para o período de 5 anos, e anualmente de 4,51 t.ha⁻¹.ano⁻¹ para a biomassa e 2,12 t.ha⁻¹.ano⁻¹ para o carbono, conforme estão apresentados na Tabelas 22 e 23.

TABELA 22 INCREMENTO DE BIOMASSA FLORESTAL ACIMA DO SOLO NO PERÍODO DE 5 ANOS (2007 A 2012)

UNIDADE	INCREMENTO DE BIOMASSA (2007 A 2012)		INCREMENTO DE BIOMASSA (MÉDIO ANUAL)	
	t.ha ⁻¹	%	t.ha ⁻¹ .ano ⁻¹	%
Boa Ventura de São Roque	22,53	18,41	4,51	3,68
Coronel Vivida	7,81	7,14	1,56	1,43
Castro	21,24	14,87	4,25	2,97
Reserva do Iguaçu	15,10	13,46	3,02	2,69
MÉDIA	16,67	13,47	3,33	2,69

TABELA 23 INCREMENTO DE CARBONO FLORESTAL ACIMA DO SOLO NO PERÍODO DE 5 ANOS (2007 A 2012)

UNIDADE	INCREMENTO DE C (2007 A 2012)		INCREMENTO DE C (MÉDIO ANUAL)	
	t.ha ⁻¹	%	t.ha ⁻¹ .ano ⁻¹	%
Boa Ventura de São Roque	10,62	23,40	2,12	4,68
Coronel Vivida	3,37	8,08	0,67	1,62
Castro	9,95	18,91	1,99	3,78
Reserva do Iguaçu	7,42	19,27	1,48	3,85
MÉDIA	7,84	17,42	1,57	3,48

O incremento médio anual de biomassa e carbono florestal observados nas áreas do estudo foi superior aos encontrados por Mognon *et al.* (2013), que estimou em 0,75 t.ha⁻¹.ano⁻¹ o incremento de biomassa e 0,31 t.ha⁻¹.ano⁻¹ o incremento de

carbono em uma Floresta Ombrófila Mista. Foi superior ao encontrado por Higuchi *et al.* (2004), que estimou em $1,2 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ o incremento de carbono em uma floresta primária na Amazônia Central. Superior, ainda, ao encontrado por Weber *et al.* (2005), que estimou $1,5 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ o incremento de carbono em uma Floresta Ombrófila Mista.

As taxas de incremento médio de biomassa e carbono florestal estimadas para as áreas em estudo, para o período de 2007 a 2012, foram na ordem de $3,77 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ para a biomassa e $1,69 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ para o carbono, que podem ser explicadas pelo aumento da área basal no mesmo período, que passou, em média, de 29,82 para $34,21 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$.

O incremento do estoque de carbono florestal, observado nas áreas em estudo, representa uma importante retirada da atmosfera de gases do efeito estufa, dentre eles o dióxido de carbono (CO_2). Esse tipo de serviço ambiental, prestado pelas florestas, é um dos serviços citados no estudo da Organização das Nações Unidas (ONU) intitulado “Avaliação Ecosistêmica do Milênio” (*Millennium Ecosystem Assessment*) (FAO, 2005). Ainda, segundo o estudo da ONU, quase dois terços dos serviços ambientais prestados pela natureza estão em rápido declínio em todo o planeta, o que ressalta ainda mais a necessidade de preservação de quaisquer fragmentos florestais.

Para as áreas em estudo, os quantitativos estimados CO_2 Equivalente fixados pelas estão apresentados na Tabela 24.

TABELA 24 CO_2 EQUIVALENTE SEQUESTRADO PELAS ÁREAS EM ESTUDO NO PERÍODO DE 5 ANOS (2007 A 2012)

UNIDADE	ACUMULADO ($\text{t.CO}_{2\text{eq}}.\text{ha}^{-1}$)	MÉDIO ANUAL ($\text{t.CO}_{2\text{eq}}.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$)
Boa Ventura de São Roque	38,94	7,77
Coronel Vivida	12,36	2,46
Castro	36,48	7,30
Reserva do Iguaçu	27,21	5,43
MÉDIA	28,75	5,74

De acordo com as estimativas, foram retirados anualmente da atmosfera uma média de $5,74 \text{ t.CO}_{2\text{eq}}.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ em cada área estudada. Para todo o período do estudo, 2007 a 2012, estimou-se a retirada média de $28,75 \text{ t.CO}_{2\text{eq}}.\text{ha}^{-1}$ pelas áreas.

Segundo estudo de Accioly (2013), os fragmentos de Floresta Ombrófila Mista cobrem cerca de 1,87 milhões de hectares do território paranaense, ou cerca de 32,62% do Estado. Uma área muito vasta e que pode representar um importante sumidouro de carbono.

Assim, apenas como exercício de simulação linear, utilizando a média de incremento anual de CO_2 equivalente estimada no presente estudo de $5,74 \text{ t.CO}_{2\text{eq}}.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, os 1,87 milhões de hectares de remanescentes da Floresta Ombrófila Mista no estado do Paraná podem estar retirando anualmente da atmosfera cerca de 10,73 mi $\text{t.CO}_{2\text{eq}}$. Números que reforçam a importância desses remanescentes florestais e indicam ainda mais a necessidade de preservação.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com base nas análises desenvolvidas neste trabalho, foi possível concluir que:

- As equações hipsométricas, ajustadas para os fragmentos de Floresta Ombrófila Mista estudados, apresentaram alto erro padrão da estimativa e baixo coeficiente de determinação, podendo fornecer estimativas de baixa exatidão;
- As equações ajustadas para a biomassa e o carbono da árvore total e do fuste apresentaram os melhores resultados no ajuste, produzindo equações com alto coeficiente de determinação ajustado e erro padrão da estimativa aceitável, considerando que são equações para florestas naturais, podendo fornecer estimativas de biomassa e carbono com aceitável exatidão;
- Para a casca, galhos e folhagem as equações de biomassa e carbono apresentaram, na maioria das vezes, alto coeficiente de determinação ajustado, mas alto erro padrão da estimativa, indicando que embora os ajustes foram bons, as equações podem apresentar baixa exatidão nas estimativas;
- As equações de biomassa e carbono, ajustadas apenas com a variável independente *dap*, apresentaram desempenho similar às equações que incluíam a variável independente *h*, indicando que a inclusão dessa variável não melhorou os ajustes das equações a ponto de justificar a obtenção da altura total das árvores a campo;
- As equações de biomassa e carbono, selecionadas para a aplicação na base de validação, apresentaram um comportamento de compensação dos resíduos para a árvore total e para o compartimento fuste, indicando que, quando aplicadas a um grande volume de dados, o somatório das estimativas para árvores individuais pode ser próximo do real, com pequena margem de erro;
- As equações $B_{total} = \exp(-3,07697 + 2,57018 \ln dap)$, $C_{total} = \exp(-3,12397 + 2,34367 \ln dap)$, $B_{fuste} = \exp(-2,88457 + 2,29168 \ln dap)$ e $C_{fuste} = \exp(-3,74343 + 2,28477 \ln dap)$ podem ser indicadas para a estimativa da biomassa e do carbono da parte aérea da árvore individual e do fuste em áreas de Floresta Ombrófila Mista no Estado do Paraná;

- Após a estimativa dos estoques de biomassa e carbono nas áreas do estudo nos anos de 2007 e 2012, verificou-se que houve expressivo incremento de biomassa e carbono no período, com média de incremento para biomassa de $3,33 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ e $1,57 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ para o carbono, com aumento da área basal, indicando que os fragmentos florestais estão em crescimento, que apresentam grande estoque de carbono fixado na biomassa florestal e com grande capacidade de fixação;
- As áreas em estudo fixaram, em média, $5,75 \text{ t.CO}_{2\text{eq}}.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ na biomassa acima do solo, indicando que a preservação dos fragmentos de Floresta Ombrófila Mista representa não só um importante passo para se evitar a emissão de gases do efeito estufa pelo desmatamento, mas também a manutenção de diversos serviços ambientais oferecidos por esses fragmentos florestais, dentre eles a fixação de carbono.

Como recomendações, sugere-se:

- Para buscar a melhoria dos ajustes das equações, tanto hipsométricas como de biomassa e carbono, uma possibilidade seria o agrupamento de espécies por arquitetura de árvores. Agrupando, assim, as espécies com estruturas similares, que pode melhorar os ajustes das equações;
- A amostragem de maior número de árvores para biomassa e carbono também pode melhorar os ajustes das equações, além de tornar a amostragem mais representativa;
- Para a utilização das equações de biomassa e carbono, ajustadas neste trabalho, em outras áreas de Floresta Ombrófila Mista, recomenda-se observar o estágio de sucessão e a distribuição diamétrica das áreas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACCIOLY, P. **Mapeamento dos remanescentes vegetais arbóreos do estado do Paraná e elaboração de um sistema de informações geográficas para fins de análise ambiental do estado**. 2013. 129p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

ANJOS, A. dos; MAZZA, M. C.; SANTOS, A. C. M. C. dos; DELFINI, L. T. Análise do padrão de distribuição espacial da araucária (*Araucaria angustifolia*) em algumas áreas do estado do Paraná, utilizando a função K de Ripley. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.66, p.38-45, dez. 2004.

APG III - Angiosperm Phylogeny Group. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. **Botanical Journal of the Linnean Society**, n.161, p.105-121, 2009.

BAGGIO, A. J.; CARPANEZZI, A. A.; SANMIGUEL, A. A. Equações para estimativa de peso da biomassa aérea de bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.) na idade de corte. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n.30/31, p.37-49, jan-dez, 1995.

BARROS, P. L. C. **Estudo das distribuições diamétricas da floresta do planalto Tapajós-Pará**. 1980. 123p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

BARTH FILHO, N. **Monitoramento do crescimento e da produção em floresta ombrófila mista com uso de parcelas permanentes**. 2002. 86p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

BATES, D. M.; WATTS, D. G. **Nonlinear regression analysis and its applications**. New York: John Wiley and Sons, 1988.

BRIGADÃO, C. **Dicionário de ecologia**. Rio de Janeiro: Toop Books Editora e Distribuidora Ltda, 1992. 344p.

BRITEZ, R. M. de; BORGIO, M.; TIEPOLO, G.; FERRETI, A.; CALMON, M.; HIGA, R. **Estoque e incremento de carbono em florestas e povoamentos de espécies arbóreas com ênfase na floresta atlântica do sul do Brasil**. Colombo: Embrapa, 2006. 165p.

BRUN, E. J. **Biomassa e nutrientes na floresta estacional decidual, em Santa Tereza, RS**. 2004. 136p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

BRUN, F. G. K. **Dinâmica do Carbono Orgânico em Espécies Arbóreas de uma Floresta Estacional Decidual no Rio Grande do Sul**. 2007. 107p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

CALDEIRA, M. V. W. **Determinação de biomassa e nutrientes em uma floresta ombrófila mista montana em General Carneiro, Paraná**. 2003. 176p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

CAMPOS, M. A. A. **Balanco de biomassa e nutrientes em povoamentos de *Ilex paraguariensis*. Avaliação na safra e na safrinha**. 1991. 106p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira**. Brasília: EMBRAPA-CNPQ; EMBRAPA-SPI, 1994. 640p.

CHAGAS, G. F. B.; DANTAS, V. A.; SILVA, V. P. R.; COSTA, A. C. L. Dinâmica do crescimento da biomassa aérea para floresta tropical. XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Amazônia e o Clima Global. **Anais...** Belém, 2010 disponível em: <http://www.cbmet2010.com/anais/artigos/500_13207.pdf>, Acesso em 25/10/2014.

CHAPMAN, H. H.; MEYER, W.H. **Forest mensuration**. New York: McGraw-Hill, 1949. 522 p.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, **Resolução nº 2**, de 18 de março de 1994, disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res94/res0294.html>> acesso em: 29 maio 2014.

DRAPER, N. R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. New York: J. Wiley & Sons, 1981. 2 ed. 709p.

FAO, ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E A AGRICULTURA. **Ecosystems and Human Well-being A Framework for Assessment**. 2005. Disponível em: <<http://www.maweb.org/en/index.aspx>> Acesso em 10/09/2014.

FINGER, C. A. G. **Fundamentos de biometria florestal**. Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, 1992. 269p.

GOMIDE, G. L. A. **Estrutura e dinâmica de crescimento de florestas tropicais primária e secundária no Estado do Amapá**. 1997. 181p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

GONÇALVES, J. L. M.; MELLO, S. L. M. O sistema radicular das árvores. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Eds.) **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEFFAPESP, 2000, p.219-267.

GUIMARÃES, P. S. **Ajuste de curvas experimentais**. Santa Maria: UFSM, 2001. 233p.

HIGUCHI, N.; CARVALHO JÚNIOR, J. A. Fitomassa e conteúdo de carbono de espécies arbóreas da Amazônia. In: SEMINÁRIO EMISSÃO x SEQÜESTRO DE CO₂ – UMA NOVA OPORTUNIDADE DE NEGÓCIOS PARA O BRASIL, 1994, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: CVRD, 1994. p.125-145.

HIGUCHI, N.; CHAMBERS, J.; SANTOS, J. dos; RIBEIRO, R. J.; PINTO, A. C. M.; SILVA, R. P. das; ROCHA, R. M.; TRIBUZY, E. S. Dinâmica e balanço do carbono da vegetação primária da Amazônia central. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 34, n. 3, p. 295 - 304, 2004.

HOPPE, J. M. **Biomassa e nutrientes em *Pnatanus x acerifolia* (Aiton) Willd. estabelecido no município de Dom Feliciano - RS**. 2003. 143p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

IAPAR. **Guia de campo para identificação de solos no Estado do Paraná: Solos da região do 3º Planalto**. Londrina: Fundação do Instituto Agrônômico do Paraná, 1986.

IAPAR. **Cartas climáticas básicas do Estado do Paraná**. Londrina, IAPAR, 1994, 49p.

IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. 275p.

ITCG, INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E GEOCIÊNCIAS. **Solos - Estado do Paraná**. 2008. Disponível em: <http://www.itcg.pr.gov.br/arquivos/File/Produtos_DGEO/Mapas_ITCG/PDF/Mapa_Solos.pdf>. Acesso em: 02 jun 2014.

KOHYAMA, T.; TAKADA, T. Recruitment rates in forest plots: Gf estimates using growth rates and size distributions. **Journal of Ecology**. V.86, p.633-639, 1998.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928.

KUNIYOSHI, Y. S. Reconhecimento das fases sucessionais da vegetação arbórea. In: **Simpósio sobre Avaliação de Impactos Ambientais**. Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais, 1989.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2001. 531p.

LONGHI, S. J.; BRENA, D. A.; GOMES, J. F.; NARVAES, I. DA S.; BERGER, G.; SOLIGO, A. J. Classificação e caracterização de estágios sucessionais em remanescentes de Floresta Ombrófila Mista na Flona de São Francisco de Paula, RS, Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.16, n 2, p.113-125, 2006.

MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná**. Rio de Janeiro: José Olympio, 1981. 442p.

MACHADO, S. do A.; BAILEY, R. L.; BASSO, S. F.; BEVILACQUA JUNIOR, V. G. Análise do comportamento da relação hipsométrica com respeito à idade para plantações de *Pinus elliotti* no Paraná. **Revista Cerne**, Lavras, v. 1, n. 1, p. 5-12, 1994.

MACHADO, S. do A.; NASCIMENTO, R. G. M. N.; AUGUSTYNICZIK, A. L. D.; SILVA, L. C. R. DA; FIGURA, M. A.; PEREIRA, E. M.; TÊO, S. J. Comportamento da relação hipsométrica de *Araucaria angustifolia* no capão da Engenharia Florestal da UFPR. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n.56, p.5-16, 2008.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1980. 251p.

MARTINELLI, L. A.; MOREIRA, M. Z.; BROWN, I. F.; VICTORIA, R. L. **Incertezas associadas às estimativas de biomassa em florestas tropicais: o exemplo de uma floresta situada no estado de Rondônia**. In: Seminário Emissão x Sequestro de CO₂. Rio de Janeiro: Companhia Vale do Rio Doce, 1994. 221p.

MARTINS, P. J. **Biomassa vegetal, estoque de carbono e dinâmica de um fragmento de Floresta Ombrófila Mista Montana**. 2011. 86p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, PR.

MELLO, S. L. M. DE; GONÇALVES, J. L. DE M. Equações para estimar a biomassa da parte aérea e do sistema radicular em povoamentos de *Eucalyptus grandis* em sítios com produtividades distintas. **Revista Árvore**. Voçosa, v.32, n.1, p.101-111, 2008.

MIRANDA, D. L. C. de. **Modelos matemáticos de estoque de biomassa e carbono em áreas de restauração florestal no sudoeste paulista**. 2008. 130p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

MIRANDA, D. L. C. de; MELO, A. C. G. de; SANQUETTA, C. R. Equações alométricas para estimativa de biomassa e carbono em árvores de reflorestamento de restauração. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.35, n.3, Edição Especial, p.679-689, 2011.

MMA, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Florestas tropicais, mitigação e adaptação às mudanças climáticas**. 2012. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/redd/images/Publicacoes/mma_notainformativa_01.pdf>. Acesso em: 05 jan 2015.

MOGNON, F. **Dinâmica do estoque de carbono como serviço ambiental prestado por um fragmento de Floresta Ombrófila Mista Montana localizada no Sul do estado do Paraná**. 2011. 125f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, PR.

MOGNON, F.; DALLA LANA, M.; DALLA CORTE, A. P.; SANQUETTA, C. R.; DALLAGNOL, F. S. Relação hipsométrica para Floresta Ombrófila Mista Montana localizada no Sul do Paraná. In: 4º Congresso Florestal Paranaense 2012, Curitiba. **Anais...** 4º Congresso Florestal Paranaense, 2012.

MOGNON, F.; DALLAGNOL, F. S.; SANQUETTA, C. R.; DALLA CORTE, A. P.; BARRETO, T. G. Uma década de dinâmica de fixação de carbono na biomassa arbórea em Floresta Ombrófila Mista no Sul do Paraná. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 43, n. 1, p. 153 - 164, jan./mar. 2013.

NARVAES, I. da S.; BRENA, D. A.; LONGHI, S. J. Estrutura de regeneração natural em Floresta Ombrófila Mista na Floresta Nacional de São Francisco de Paula, RS **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.15, n.4, p.331-342, 2005.

NOGUEIRA, E. M.; FEARNside, P. M.; NELSON, B. W.; BARBOSA, R. I.; KEIZER, E. W. H.. Estimates of forest biomass in the Brazilian Amazon: New allometric equations and adjustments to biomass from wood-volume inventories. **Forest Ecology and Management**, Philadelphia, USA, v.256, p.1853-1867, 2008.

ODUM, E. P. **Ecologia**. São Paulo: Pioneira, 1977. 201p.

PÁSCOA, F.; MARTINS, F.; GONZÁLEZ, R. S.; JOAO, C. **Estabelecimento simultâneo de equações de biomassa para o pinheiro bravo**. Disponível em: <<http://www.gruponahise.com/simposio/papers%20pdf/13%20Fernando%20P%E1sc oa.pdf>>. Acesso em: 10 agosto 2013.

PIZATTO, W. **Avaliação biométrica da estrutura e da dinâmica de uma Floresta Ombrófila Mista em São João do Triunfo - PR: 1995 a 1999**. 1999. 186p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, PR.

RATUCHNE, L. C. **Equações alométricas para estimativa de biomassa, carbono e nutrientes em uma Floresta Ombrófila Mista**. 2010. 111p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual do Centro Oeste, Guarapuava, PR.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia Vegetal**. 8ª. ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, 2014. 850p.

RESENDE, D.; MERLIN, S.; SANTOS, M. **Sequestro de carbono: uma experiência concreta**. 2.ed. Palmas: Instituto Ecologia, 2001. 178p.

RESENDE, A. V.; VALE, A. T. do; SANQUETTA, C. R.; FIGUEIREDO FILHO, A. FELFILI, J. M. Comparação de modelos matemáticos para estimativa do volume, biomassa e estoque de carbono da vegetação lenhosa de um cerrado *sensu stricto* em Brasília, DF. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.71, p.65-76, ago. 2006.

RODERJAN, C. V.; GALVÃO, F.; KUNIYOSHI, Y. S.; HATSCHBACH, G.; KIRCHNER, F.F. **As unidades fitogeográficas do estado do Paraná, Brasil**. In: Ciência & Ambiente, Universidade Federal, de Santa Maria. Santa Maria – RS, n. 24, p. 75-92, 2002.

ROSSI, L. M. B. **Processo de difusão para simulação da dinâmica de floresta natural**. 2007. 148p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

SANQUETTA, C. R. **Fundamentos biométricos dos modelos de simulação florestal**. Curitiba: FUPEF - Série didática Nº 08, 1996. 59p.

SANQUETTA, C. R.; CUNHA, U. S. da; WATZLAWICK, L. F.; CAMPOS, M. L. B. Projeção da distribuição diamétrica de fragmentos de floresta com matriz de transição. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, Curitiba, v.3, n.1, p.65-78, jan. 2001.

SANQUETTA, C. R. **Metodologias para determinação de biomassa florestal**. In: SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. F.; BALBINOT, R.; ZILIOTTO, M. A. B.; GOMES, F. dos S. As florestas e o carbono. Curitiba: UFPR, 2002. 264p.

SANQUETTA, C. R. **Os números atuais da cobertura florestal do Paraná**. Curitiba: UFPR, 2003. Disponível em: <http://ambientes.ambientebrasil.com.br/florestal/artigos/os_numeros_atuais_da_cobertura_florestal_do_parana.html>. Acesso em: 28 maio 2012.

SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. F.; SCHUMACHER, M. V.; MELLO, A. A. de. Relações individuais de biomassa e conteúdo de carbono em plantações de *Araucária angustifolia* e *Pinus taeda* no sul do estado do Paraná, Brasil. **Revista Acadêmica: ciências agrárias e ambientais**, Curitiba, v.1, n.3, p.33-40, jul./set. 2003a.

SANQUETTA, C. R.; DALLA CORTE, A. P.; EISFELD, R. de L. Crescimento, mortalidade e recrutamento em duas florestas de Araucária (*Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.) no Estado do Paraná, Brasil. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v.5, n.1, jan/jun. 2003b.

SANQUETTA, C. R.; DALLA CORTE, A. P.; ROGLIN, A.; PIMENTEL, A. Relações diâmetro-altura para espécies lenhosas em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista no Sul do Paraná. **IHERINGIA**, Série Botânica, Porto Alegre, v.68, n.1, p.103-114, 2013.

SANTANA, R. C.; BARROS, N. F. de; LEITE, H. G.; COMERFORD, N. B.; NOVAIS, R. F. de. Estimativa de biomassa de plantios de eucalipto no Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v.32, n.4, p.697-706, 2008.

SCHNEIDER, P. R. **Análise de regressão aplicada à engenharia florestal**. Santa Maria: UFSM, 1997. 217p.

SCHUMACHER, M. V.; CALDEIRA, M. V. W. Estimativa da biomassa e do conteúdo de nutrientes de um povoamento de *Eucalyptus globulus* (Labillardière) sub-espécie *maidenii*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.11, n.1, p.45-53, 2007.

SILVA, H. D da; FERREIRA, C. A.; CORRÊA, R. S.; BELLOTE, A. F. J.; TUSSOLINI, E. L. Alocação de biomassa e ajuste de equações para estimativa de biomassa em compartimentos aéreos de *Eucalyptus benthamii*. **Boletim de Pesquisas Florestais**, Colombo, n.49, p.83-95, jul./dez. 2004.

SILVA, R. P. **Alometria, estoque e dinâmica da biomassa de florestas primárias e secundárias na região de Manaus (AM)**. 2007. 135p. Tese (Doutorado Biologia Tropical e Recursos Naturais) – INPA, Manaus, AM.

SILVEIRA, P. **Métodos indiretos de estimativa do conteúdo de biomassa e do estoque de carbono em um fragmento de floresta ombrófila densa**. 2008. 129p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

SILVEIRA, P.; KOEHLER, H. S.; SANQUETTA, C. R.; ARCE, J. E. O estado da arte na estimativa de biomassa e carbono em formações florestais. **FLORESTA**, Curitiba-PR, v. 38, n. 1, jan./mar. 2008.

SOARES, C. P. B.; OLIVEIRA, M. L. R de. Equações para estimar a quantidade de carbono na parte aérea de árvores de eucalipto em Viçosa, Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, v.26, n.5, p.533-539, 2002.

SOCHER, L. G. **Dinâmica e biomassa aérea de um trecho de floresta ombrófila mista aluvial no município de Araucária, Paraná.** 2004. 102p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

SOMOGYI, Z.; CIENCIALA, E.; MÄKIPÄÄ, MUUKKONEN, P.; LEHTONEN A.; WEISS, P. Indirect methods of large-scale forest biomass estimation. **Europe Journal Forest Research**, n. 126, p.197-207, 2007.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais.** 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Solos, 1995. 118 p.

URBANO, E.; MACHADO, S. do A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; KOEHLER, H. S. Equações para estimar o peso de carbono fixado em árvores de *Mimosa scabrella* Bentham (bracatinga) em povoamentos nativos. **Cerne**, Lavras, v.14, n.3, p.194-203, 2008.

VALERIO, A. F.; WATZLAWICK, L. F.; SANTOS, R. T. dos; SILVESTRE, R; KOEHLER, H. S. Ajuste de modelos matemáticos para estimativa de biomassa dos distintos componentes de uva do Japão (*Hovenia dulcis* Thund). **Ambiência**, Guarapuava, v.3, n.3, p.325-336, 2007.

VANCLAY, J. K. **Modelling forest growth and yield - applications to mixed tropical forests.** Wallingford: CAB International, 1994. 312p.

VERES, Q. J. I. **Fitossociologia, dinâmica e biomassa de um fragmento da Floresta Estacional Semidecidual - Paraná.** 2012. 99p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Estadual do Centro Oeste, Irati, PR.

WATZLAWICK, L. F. **Estimativa de biomassa e carbono em floresta ombrófila mista e plantações florestais a partir de dados de imagens do satélite Ikonos II.** 2003. 120p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

WATZLAWICK, L. F.; BALBINOT, R.; SANQUETTA, C. R.; CALDEIRA, M. V. W. Teores de carbono em espécies da floresta ombrófila mista. In: SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R.; ZILIOOTTO, M. A. B. **Fixação de carbono: atualidades, projetos e pesquisas**. Curitiba: AM Impressos, 2004. 205p.

WATZLAWICK, L. F.; AMARAL, L. de P.; FERREIRA, R. A.; MARTINS, P. J.; MACAHDO, M.; KRAEMER, L. F. **Levantamento e avaliação de biomassa e carbono em fragmentos de Floresta Ombrófila Mista e Floresta Estacional Semidecidual em propriedades de agricultura familiar na região Centro-Sul do Paraná**. 2010. 22p. Trabalho não publicado.

WATZLAWICK, L. F.; EBLING, E. A.; RODRIGUES, A. L.; VERES, Q. J. I.; LIMA, A. M. de; Variação nos teores de carbono orgânico em espécies arbóreas da floresta ombrófila mista. **Floresta e Ambiente**, v.18, n.3, p. 248-258, 2011.

WEBER, K. S.; SANQUETTA, C. R.; EISFELD, R. L. Variação volumétrica e distribuição espacial do estoque de carbono em Floresta Ombrófila Mista. **Revista Acadêmica Ciências Agrárias e Ambientais**, Curitiba, v. 3, n. 2, p. 77-85, 2005.

YU, C. M. **Sequestro florestal de carbono no Brasil: dimensões políticas, socioeconômicas e ecológicas**. São Paulo: Annablume, 2004. 280p.